



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PPGEC – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Ciência e Tecnologia do Concreto

JOELCIO LUIZ STOCCO

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA E DA
FORMA DE AGREGADOS GRAÚDOS DE
BRITAGEM PARA USO EM CONCRETOS
DOSADOS EM CENTRAL

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil da
Universidade Federal de
Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Luiz
Roberto Prudêncio Jr.

Florianópolis, 2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Stocco, Joelcio Luiz

Influência da granulometria e da forma de agregados
grãos de britagem para uso em concretos dosados em
central / Joelcio Luiz Stocco ; orientador, Luiz Roberto
Prudêncio Jr - Florianópolis, SC, 2013.
212 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Concreto. 3. Agregado. 4.
Britagem. I. Prudêncio Jr, Luiz Roberto. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Dedico este trabalho às minhas filhas,
Eduarda e Isabela.

“Só é útil o conhecimento que nos torna melhores.”

(Sócrates)

AGRADECIMENTOS

Sinto-me abençoado pela oportunidade de evoluir no conhecimento e como ser humano. Algumas pessoas tiveram papel fundamental para que isto ocorresse e é com muita felicidade que as agradeço.

Ao professor e amigo Luiz Roberto Prudêncio Jr., que por mais de vinte anos tem participado da minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Por acreditar e orientar este trabalho, sempre com empenho e dedicação. Muito, muito obrigado.

À Regina, que com muita ternura não permitiu que o desânimo tomasse conta nos momentos difíceis.

Aos professores Dra. Janaíde Cavalcante Rocha e Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto pelas aulas, incentivo, apoio, ensinamentos e por terem aceitado avaliar este trabalho desde a qualificação.

Ao professor Dr. Enio José Pazini Figueiredo por se prontificar a avaliar este trabalho.

Ao professor Dr. Ivo José Padaratz pelas aulas, ensinamentos e apoio.

Ao professor Dr. Wellington Longuini Repette pelas aulas e ensinamentos.

À secretaria do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, obrigado Mari.

Ao amigo Paulo Ricardo de Matos que provou ser uma pessoa de extremo caráter, sendo sempre prestativo por mais sobrecarregado que estivesse. Valeu!

Aos demais integrantes do quarteto fantástico Eduardo, Felipe e Matheus que no momento crítico estiveram presentes com muito entusiasmo.

Aos amigos Rudiele, Ronaldo e Lucas que prestaram apoio fundamental no transcorrer da elaboração desta dissertação.

Ao amigo Denis Fernandes Weidmann, parceiro de bons e maus momentos, que deu o suporte em todos os momentos quando foi acionado.

Ao colega e amigo Sérgio Ricardo Ostermayer, com quem foram divididas alegrias e tristezas, que também prestou apoio logístico essencial.

Ao Sr. Édio da Engemix e o Sr. Lorivaldo da Cedroecm, que ajudaram na preparação dos materiais.

Aos amigos do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina Luiz Henrique, Renato e Roque.

Aos senhores Rod e Eduardo que com muito respeito e amizade me motivaram a encontrar o caminho da harmonia.

Ao Sr. Ajalor Marques da Silva por ter ajudado na revisão deste trabalho.

À minha irmã Joyce por compreender todo o processo, assumindo a responsabilidade familiar sozinha quando foi necessário, dando-me a liberdade para finalizar este trabalho.

Aos meus pais Rosi e Acyr por todo amor e carinho.

Por fim, um agradecimento especial à minha esposa Leila, que da sua maneira nunca permitiu que eu desistisse desta caminhada. Sua ajuda física, emocional e espiritual foram fundamentais. Sem você acredito que não teria chegado ao fim. Desculpo-me pelos momentos de irritação e cansaço e agradeço muito por você fazer parte da minha vida. Com amor, muito obrigado.

STOCCO, Joelcio Luiz. *Influência da granulometria e da forma de agregados graúdos de britagem para uso em concretos dosados em central*. Florianópolis, 2013. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

RESUMO

O agregado graúdo constitui o maior volume do concreto de cimento Portland. Inicialmente imaginava-se que sua função fosse somente de enchimento. Entretanto, sabe-se, hoje, que suas características físicas e químicas têm forte influência no desempenho do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Algumas características são dependentes da litologia do material, enquanto que outras derivam do processo utilizado para a cominuição dos grãos. Até pouco tempo o consumo de britas estava concentrado, na sua maioria, no setor de pavimentação, ficando as concreteiras responsáveis pelo consumo de uma pequena parcela do montante total. Desta forma, a estratégia das pedreiras era de produzir grandes volumes com menor custo, devido à alta demanda das obras viárias, sem se preocupar em melhorar a qualidade do material. Dentro deste panorama as concreteiras ficavam dependentes do produto ofertado ao mercado adaptando seus traços aos agregados disponíveis em cada região. Com a aceleração do crescimento do Brasil nos últimos anos, houve uma mudança no cenário nacional, permitindo, então, que algumas pedreiras se tornassem sustentáveis economicamente produzindo agregado com foco na indústria do concreto. A melhoria das características dos agregados proporciona benefícios de ordem econômica, técnica e ambiental ao concreto de cimento Portland. Neste trabalho foram estudadas as características de agregados graúdos basálticos e graníticos que derivam do processo de produção em pedreiras, sendo estas, a forma, distribuição granulométrica e dimensão máxima característica. Foi analisada a influência destas características na dosagem, transporte e lançamento do concreto. Também se verificou qual o impacto na resistência à compressão do concreto endurecido. Concluiu-se que o uso de equipamentos do tipo “VSI” se torna praticamente indispensável na produção de agregados de britagem para uso em concreto dosado em central. Ao final do trabalho foram obtidas curvas que permitiram correlacionar diferentes métodos de determinação da forma das partículas, se conferiu o comportamento durante o transporte e também foi criado um método para avaliar o comportamento do concreto durante seu lançamento. Estas ferramentas

permitem que as centrais dosadoras de concreto possam avaliar, escolher e acompanhar o agregado graúdo de uma maneira mais rápida e prática do que os procedimentos que até o momento estão sendo comumente utilizados.

Palavras-chave: Concreto. Agregado. Britagem.

ABSTRACT

The coarse aggregate constitutes the biggest volume of Portland cement concrete. Initially, the belief was that its function was just for filling. However, nowadays it's clear that the physical and chemical characteristics have a strong influence on the performance of concrete in both fresh and hardened state. Some characteristics are dependent on the lithology of the material, while others are derived from the process used to crush the grains. Until recently, the use of crushed stone was mostly concentrated in the paving industry, getting ready mix concrete producers responsible for only a small portion of the total amount consumption. Thus, the strategy of the quarries was to produce large volumes at lower cost due to the high demand of road works, not worrying about improving the quality of the material. Within this framework, the concrete plants were dependent on the product offered to the market by adapting their features to the available products in each region. With the acceleration of growth in Brazil in recent years, there has been a change in the national scene, allowing this way, some quarries to become economically sustainable producing products with the focus on the concrete industry. The improvement of the characteristics of the products provides benefits to economic, technical and environmental to Portland cement concrete. This work studied the characteristics of basaltic and granitic coarse aggregates derived from the production process in quarries, being the form, particle size distribution and maximum dimension feature. The influence of these characteristics on dosing, transport and placing of concrete could be analyzed. The impact on compressive strength of hardened concrete was also observed. It was concluded that the use of the equipment type "VSI" becomes practically indispensable in the production of crushing products used in ready mix concrete plant. At the end of the work curves were allowed to correlate different methods of determining the shape of the particles, the behavior during the transport was observed and a method was created to evaluate the behavior of concrete during its placing. These tools allow the ready mix concrete plants evaluate, select and monitor the coarse aggregate in a faster and more practical way than the procedures that are commonly being used so far.

Key-words: Concrete. Aggregate. Crushing Plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partículas com comprimento (a) e largura (b) maiores que a abertura da malha da peneira.....	31
Figura 2: Produção de agregado de várias fontes, no Reino Unido, no período de 1965 a 1998.....	39
Figura 3: Produção nacional de agregados.....	40
Figura 4: Ilustração da análise por peneiramento.....	48
Figura 5: Dimensões do fragmento a serem medidas.....	53
Figura 6: Formas dos agregados.....	54
Figura 7: Placa de Lamelaridade (esquerda) e Cálibre de partículas Alongadas.....	55
Figura 8: CPA PARTICLE SIZE AND PARTICLE SHAPE ANALYSER.....	56
Figura 9: Dynamic Image Analysis System Particle Size.....	56
Figura 10: Arredondamento.....	57
Figura 11: Representação esquemática da unidade do agregado.....	61
Figura 12: Fluxograma do processo de britagem.....	64
Figura 13: Planta móvel de britagem.....	65
Figura 14: Britador de mandíbulas de dois eixos.....	66
Figura 15: Britador de mandíbulas.....	66
Figura 16: Britador cônico.....	67
Figura 17: Redução do material entre a carcaça e o manto.....	67
Figura 18: VSI - "Vertical Shaft Impactor".....	68
Figura 19: Princípio de funcionamento de um sistema de peneiramento.....	69
Figura 20: a) Deck de peneira e b) Tela com abertura hexagonal.....	70
Figura 21: Telas de aço com abertura quadrada e triangular e tela de borracha com abertura quadrada.....	70
Figura 22: Concretagem do bloco de fundação do Edifício MILLENNIUM PALACE da construtora FGEMPREENDIMENTOS, em Balneário Camboriú – SC.....	73
Figura 23: Bombeamento utilizando bomba lança e lançamento de concreto em laje.....	73
Figura 24: Lançamento de concreto.....	74
Figura 25: Bombas de concreto: estacionária, auto bomba e auto bomba com mastro de distribuição.....	75

Figura 26: Esquema de funcionamento de uma bomba de concreto..	76
Figura 27: Layout de uma central de dosagem de concreto.....	84
Figura 28: Material basáltico que passou pelo VSI (esquerda) após ter passado pelo cone (direita).....	85
Figura 29: Granito retirado na correia imediatamente após o VSI....	87
Figura 30: Material seco ao ar (esquerda) e conjunto de peneiras (direita).....	87
Figura 31: Tambores contendo diversas frações granulométricas (esquerda) e materiais após peneiramento (direita).....	88
Figura 32: Peneiramento manual com abertura de malha de 31,5 mm.....	88
Figura 33: Cimento armazenado em tambor metálico revestido com lona plástica e sílica gel granulada.....	89
Figura 34: Aditivo polifuncional.....	89
Figura 35: Agregado sendo compactado após homogeneização (esquerda). Procedimento de rasura para determinação da massa unitária compactada (direita).....	91
Figura 36: Dosagem das composições granulométricas.....	92
Figura 37: Utilização de paquímetro para determinação da forma das partículas com diferentes processos de cominuição.....	94
Figura 38: Granito da fração 4,75/12,5: à esquerda material do cone e à direita material do VSI.....	95
Figura 39: Calibre de partículas alongadas e placa de lamelaridade (acima), ensaio da placa de lamelaridade (abaixo à esquerda) e ensaio de partículas alongadas (abaixo à direita).....	96
Figura 40: Concreto segregando em estudo piloto.....	98
Figura 41: Concreto com teor de argamassa ideal em estudo piloto..	98
Figura 42: Cone invertido proposto por Weidmann (2008) para avaliação de bombeabilidade.....	100
Figura 43: Ensaio de fluxo de caixa L.....	101
Figura 44: Esquema de caixa de simulação e lançamento de concreto em vigas, medidas em cm.....	102
Figura 45: Caixa desmontada (esquerda) e pronta para o uso (direita).....	102
Figura 46: Caixa sobre mesa vibratória e recipiente padrão cheio, antes do ensaio.....	103
Figura 47: Sequência de: preenchimento da caixa (acima à esquerda), nivelamento do concreto (acima à direita), abertura da comporta e início da vibração (abaixo).....	103

Figura 48: Anotação do tempo de descida e avaliação visual do comportamento do concreto durante ensaio da sobre mesa vibratória (esquerda) e caixa após todo concreto ter passado pelas barras.....	104
Figura 49: Material retido na caixa depois de 90 segundos de vibração (esquerda) e partículas retidas depois de lavadas.....	104
Figura 50: Concreto com grãos alongados e lamelares (esquerda) e concreto com partículas cúbicas (direita), avaliados durante limpeza do aparato.....	105
Figura 51: Câmara úmida (acima à esquerda), retífica (acima à direita) e rompimento de corpo de prova (abaixo).....	106
Figura 52: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do granito cone.....	107
Figura 53: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do granito VSI.....	108
Figura 54: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do basalto cone.....	108
Figura 55: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do basalto VSI.....	109
Figura 56: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 0% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	111
Figura 57: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 5% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	112
Figura 58: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 10% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	112
Figura 59: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 15% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	113
Figura 60: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 15% retido # 19mm e 5% retido # 25mm.....	113
Figura 61: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 0% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	114
Figura 62: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 5% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	114
Figura 63: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 10% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	115
Figura 64: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 15% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.....	115
Figura 65: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 15% retido # 19mm e 5% retido # 25mm.....	116
Figura 66: Módulo de finura das composições graníticas.....	119

Figura 67: Módulo de finura das composições basálticas.....	119
Figura 68: Massa unitária compactada das composições graníticas..	120
Figura 69: Massa unitária compactada das composições basálticas..	121
Figura 70: Linha de tendência da média das massas unitárias do granito.....	122
Figura 71: Linha de tendência da média das massas unitárias do basalto.....	122
Figura 72: Teor de vazios das composições graníticas.....	123
Figura 73: Teor de vazios das composições basálticas.....	124
Figura 74: Linha de tendência da média do teor de vazios do granito.....	125
Figura 75: Linha de tendência da média do teor de vazios do basalto.....	125
Figura 76: Índice de forma do granito - NBR 7809 (ABNT, 2006)...	127
Figura 77: Linha de tendência da média do índice de forma do granito.....	128
Figura 78: Índice de forma do basalto - NBR 7809 (ABNT, 2006)...	128
Figura 79: Linha de tendência da média do índice de forma do basalto.....	129
Figura 80: Correlação entre o índice de forma e teor de vazios do granito.....	130
Figura 81: Correlação entre o índice de forma e teor de vazios do basalto.....	130
Figura 82: Percentual de partículas cúbicas do granito.....	132
Figura 83: Linha de tendência da média do percentual de partículas cúbicas do granito.....	133
Figura 84: Percentual de partículas cúbicas do basalto.....	133
Figura 85: Linha de tendência da média do percentual de partículas cúbicas do basalto.....	134
Figura 86 Correlação entre índice de forma e percentual de partículas cúbicas do granito.....	136
Figura 87: Correlação entre índice de forma e percentual de partículas cúbicas do basalto.....	137
Figura 88: Correlação entre índice de forma e percentual de partículas cúbicas das duas litologias estudadas.....	138
Figura 89: Relação água/cimento dos traços graníticos.....	140
Figura 90: Relação água/materiais secos dos traços graníticos.....	140
Figura 91: Relação água/cimento dos traços basálticos.....	141

Figura 92: Relação água/materiais secos dos traços basálticos.....	141
Figura 93: Teor de ar incorporado dos concretos graníticos.....	142
Figura 94: Teor de ar incorporado dos concretos basálticos.....	143
Figura 95: Tempo de decida no cone invertido dos traços graníticos.....	144
Figura 96: Tempo de decida no cone invertido dos traços basálticos.....	144
Figura 97: Tempo de descida dos traços graníticos.....	146
Figura 98: Tempo de descida dos traços basálticos.....	146
Figura 99: Linha de tendência do tempo de descida na caixa I do concreto granítico.....	147
Figura 100: Linha de tendência do tempo de descida na caixa I do concreto basáltico.....	148
Figura 101: Inspeção visual do concreto durante limpeza do aparato.....	149
Figura 102: Resistência à compressão aos 28 dias dos concretos graníticos, à esquerda, e dos concretos basálticos, à direita.....	150
Figura 103: Teor de argamassa das composições graníticas calculados pelo método ABCP / ACI.....	153
Figura 104: Linha de tendência das médias dos teores de argamassa das composições graníticas calculados pelo método ABCP / ACI....	153
Figura 105: Teor de argamassa das composições basálticas calculados pelo método ABCP / ACI.....	154
Figura 106: Linha de tendência das médias dos teores de argamassa das composições basálticas calculados pelo método ABCP / ACI....	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Abundância dos elementos químicos na crosta continental, em massa (adaptado de POOLE e SIMS, 2003).....	37
Tabela 2: Estimativa sobre a constituição mineralógica da crosta continental, em volume (adaptado de SBRIGHI NETO, 2005).....	38
Tabela 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211(ABNT, 2009)).....	41
Tabela 4: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo (NBR 7211(ABNT, 2009)).....	42
Tabela 5: Tabela adaptada de exigências de graduação de agregados graúdos da norma C33/C33M - 11 ^a (ASTM, 2011).....	44
Tabela 6: Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal) (NBR 7211 (ABNT, 2009)).....	47
Tabela 7: Classificação da forma de partículas do agregado (adaptado de Neville, 1997).....	52
Tabela 8: Classificação da forma das partículas (NBR 5564 (ABNT, 2011)).....	53
Tabela 9: Textura Superficial dos Agregados (adaptado de Neville, 1997).....	58
Tabela 10: Massa específica aparente de diversos grupos de rochas, em g/cm ³ (adaptado de Neville, 1997).....	60
Tabela 11: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material (adaptado de Sbrighi Neto, 2011).....	62
Tabela 12: Tamanho máximo do agregado graúdo de acordo com o diâmetro da tubulação de bombeamento.....	77
Tabela 13: Exemplo de condições de bombeamento, utilizado por concreteiras para uma tubulação de 125 mm (adaptado de Regattieri e Maranhão, 2011).....	78
Tabela 14: Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2003).....	81
Tabela 15: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para tolerância de execução de 10 mm (adaptado da norma ABNT NBR 6118:2003).....	82
Tabela 16: Variação do tamanho do agregado para a composição granulométrica.....	90
Tabela 17: Percentuais de mistura de britas para determinação da composição ótima entre zonas granulométricas.....	90

Tabela 18: Composição percentual Cone/VSI para cada litologia.....	92
Tabela 19: Quadro resumo das composições granulométricas para o granito.....	93
Tabela 20: Quadro resumo das composições granulométricas para o basalto.....	93
Tabela 21: Distância entre pinos do Calibre de partículas alongadas.....	96
Tabela 22: Valores máximos de massa unitária compactada para cada composição granulométrica.....	110
Tabela 23: Composição granulométrica ótima.....	110
Tabela 24: Teor de argamassa calculado pelo método ABCP /ACI..	151
Tabela 25: Distribuição granulométrica Granito Cone.....	175
Tabela 26: Distribuição granulométrica Granito VSI.....	176
Tabela 27: Distribuição granulométrica Basalto Cone.....	177
Tabela 28: Distribuição granulométrica Basalto VSI.....	178
Tabela 29: Caracterização areia de britagem.....	179
Tabela 30: Caracterização areia fina.....	180
Tabela 31: Resumo dos ensaios das composições graníticas 0% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	181
Tabela 32: Resumo dos ensaios das composições graníticas 5% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	182
Tabela 33: Resumo dos ensaios das composições graníticas 10% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	184
Tabela 34: Resumo dos ensaios das composições graníticas 15% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	185
Tabela 35: Resumo dos ensaios das composições graníticas 15% retido peneira 19mm / 5% retido peneira 25mm.....	186
Tabela 36: Resumo dos ensaios das composições basálticas 0% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	188
Tabela 37: Resumo dos ensaios das composições basálticas 5% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	189
Tabela 38: Resumo dos ensaios das composições basálticas 10% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	190
Tabela 39: Resumo dos ensaios das composições basálticas 15% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.....	192
Tabela 40: Resumo dos ensaios das composições basálticas 15% retido peneira 19mm / 5% retido peneira 25mm.....	193
Tabela 41: Resumo dos ensaios de forma.....	195

Tabela 42: Dados de ensaio dos concretos graníticos.....	197
Tabela 43: Cálculos dos concretos graníticos.....	199
Tabela 44: Dados de ensaio dos concretos basálticos.....	201
Tabela 45: Cálculos dos concretos basálticos.....	203
Tabela 46: Cálculo de traços pelo método ABCP/ACI das composições graníticas.....	205
Tabela 47: Tabela de traços pelo método da ABCP/ACI das composições graníticas.....	207
Tabela 48: Cálculo de traços pelo método ABCP/ACI das composições basálticas.....	209
Tabela 49: Tabela de traços pelo método da ABCP/ACI das composições basálticas.....	211

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards Institution
CP	Corpo de prova
DMC	Dimensão máxima característica
M.U.C.	Massa unitária compactada
NBR	Norma Brasileira Registrada
PC _b	Percentual de partículas cúbicas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	Introdução.....	29
1.1	Objetivos.....	33
1.2	Estrutura do Trabalho.....	33
2	Revisão Bibliográfica.....	35
2.1	Agregados para Concreto de Cimento Portland.....	35
2.1.1	Definição.....	35
2.1.2	Classificação.....	35
2.1.2.1	Classificação quanto à origem e características dos agregados naturais.....	35
2.1.2.2	Classificação quanto à dimensão dos grãos.....	41
2.1.2.3	Classificação quanto à massa unitária.....	45
2.1.3	Caracterização.....	46
2.1.3.1	Composição granulométrica.....	46
2.1.3.2	Dimensão máxima característica.....	49
2.1.3.3	Módulo de finura.....	50
2.1.3.4	Forma e Textura superficial.....	51
2.1.3.5	Resistência mecânica.....	58
2.1.3.6	Massa específica e Massa unitária.....	59
2.1.3.7	Absorção e Umidade superficial.....	60
2.1.3.8	Substâncias nocivas.....	61
2.2	Produção de agregados em pedreira.....	63
2.2.1	Conceitos gerais.....	63
2.2.1.1	Britagem primária.....	65
2.2.1.2	Britagem intermediária.....	67
2.2.1.3	Britagem final e cubicização.....	68
2.2.1.4	Classificação por peneiramento.....	69
2.3	Características com potencial para otimização.....	71
2.4	Limitadores técnicos.....	71
2.4.1	Considerações iniciais.....	71
2.4.1.1	Bombeamento.....	75
2.4.1.2	Lançamento.....	79
2.4.1.3	Produção de concreto em centrais dosadoras.....	82
3	Método de trabalho.....	85
3.1	Considerações preliminares.....	85
3.2	Programa experimental.....	86
3.2.1	Coleta e preparação do material.....	86
3.2.2	Composição das granulometrias.....	90
3.2.3	Estudo das características dos agregados.....	94

3.2.4	Estudos em concreto.....	96
4	Apresentação e análise dos resultados.....	107
4.1	Composição das granulometrias.....	107
4.1.1	Massa unitária compactada dos agregados.....	107
4.1.2	Composição granulométrica ótima.....	109
4.2	Características dos agregados.....	111
4.2.1	Distribuição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura.....	111
4.2.1.1	Distribuição granulométrica.....	111
4.2.1.2	Dimensão máxima característica.....	116
4.2.1.3	Módulo de finura.....	118
4.2.2	Massa unitária compactada.....	120
4.2.3	Forma.....	126
4.2.3.1	NBR 7809 (ABNT, 2006).....	126
4.2.3.2	NBR 5564 (ABNT, 2011).....	131
4.2.3.3	BS 812:Seção 105.1:1989 e BS 812:Seção 105:1990.....	131
4.2.3.4	Correlação entre o método do paquímetro e placa de lamelaridade e calibre de partículas alongadas.....	135
4.3	Resultados dos estudos em concreto.....	139
4.3.1	Abatimento.....	139
4.3.2	Relação água/cimento real e relação água/materiais secos..	139
4.3.3	Teor de ar incorporado.....	142
4.3.4	Bombeabilidade.....	143
4.3.5	Lançamento.....	145
4.3.6	Resistência à compressão.....	149
4.4	Método da ABCP / ACI.....	151
5	Considerações finais.....	157
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	159
	Referências Bibliográficas.....	161
	Anexo 1.....	167
	Anexo 2.....	174
	Anexo 3.....	175
	Anexo 4.....	179
	Anexo 5.....	181
	Anexo 6.....	195
	Anexo 7.....	197
	Anexo 8.....	205

1 Introdução

Nos primeiros estudos sobre concreto de cimento Portland, considerava-se que os agregados tinham apenas papel de enchimento. Mesmo ocupando 70% a 80% do volume em concretos convencionais, imaginava-se um material inerte destinado a diminuir o custo final de produção deste concreto (SBRIGHI NETO, 2005).

“O agregado antes era tido como um material inerte disperso por entre a pasta de cimento principalmente por razões econômicas” (NEVILLE, 1997). Pode-se considerar o agregado como um material de construção ligado por meio de uma pasta de cimento, como uma alvenaria. O agregado não é inerte no exato significado da palavra. Suas propriedades físicas, térmicas e também químicas têm influência no desempenho do concreto fresco e endurecido.

Segundo Lay (2003), existem três razões para misturar agregado e pasta de cimento para formar concreto, em vez de usar a pasta de cimento sozinha. A primeira e mais antiga razão é que o agregado é mais barato que o cimento. Então, seu uso aumenta o volume da mistura e reduz custos. Segundo, o agregado reduz a retração e a fluência, dando maior estabilidade dimensional. Terceiro, o agregado proporciona maior durabilidade ao concreto, pois a maioria dos processos de deterioração afeta principalmente a pasta de cimento.

Conforme exposto por Figueiredo (2013) a maioria das manifestações patológicas do concreto são originárias de falhas de cobrimento, ninhos de concretagem, fissuras e mau dimensionamento dos materiais, sendo que neste último aspecto está considerado o detalhamento das armaduras e especificação do agregado graúdo na dosagem do concreto. Cabe salientar que tanto a armadura como o agregado, tem sido responsáveis por importantes processos de degradação das estruturas de concreto armado.

Fica claro que existem óbvias razões econômicas e técnicas para usar o máximo de agregado e o mínimo de cimento que for possível nas misturas de concreto. Podem-se acrescentar, ainda, as questões ambientais, visto que, para cada tonelada de cimento utilizada na produção do concreto são lançados na atmosfera entre 603 e 714 kgCO₂ (Lima, 2010). Então, quando se economiza cimento numa dosagem de concreto, está se colaborando para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa à atmosfera.

Desta maneira, é evidenciado que as propriedades do concreto estão relacionadas diretamente com as propriedades dos agregados.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), as características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes, podendo citar-se, também, a resistência à abrasão. Estas características derivam da composição mineralógica da rocha matriz, das condições de exposição às quais a rocha foi submetida antes de gerar o agregado, e dos tipos de operação e equipamento usados para a produção do agregado.

Segundo Sbrighi Neto (2005), o desenvolvimento tecnológico dos agregados para concreto caminha paralelamente ao desenvolvimento do concreto e seus insumos. A permanente evolução dos traços de concreto na direção de porcentagens cada vez maiores do teor de argamassa, em detrimento da presença do agregado graúdo no concreto, de modo a produzir traços mais trabalháveis e bombeáveis, traz à tona a importância que a proporção do agregado no traço e suas propriedades intrínsecas, principalmente das frações mais grossas, têm no módulo de deformação do concreto. Ou seja, essa prática pode levar à produção de concretos mais deformáveis se não houver preocupação com a qualidade e o volume do agregado graúdo, que tem forte influência no módulo de deformação do concreto.

Se for considerada apenas a origem das rochas, comparativamente, as rochas ígneas (exemplos típicos: granitos e basaltos) são as que apresentam melhores condições na produção de agregado para concreto, devido à sua composição mineralógica, textura e estrutura, tendendo a microestruturas mais densas e compactas (SBRIGHI NETO, 2005). Segundo Valverde (2001), as rochas ígneas são as mais utilizadas na produção de britas em pedreiras comerciais no Brasil.

De acordo com Neville (1997), além da natureza petrográfica do agregado, são importantes as suas características externas, particularmente a forma e a textura superficial da partícula. O arredondamento, que representa a angulosidade das arestas ou cantos de uma partícula, depende muito da resistência à abrasão da rocha-mãe e das ações de desgaste a que a partícula foi submetida. No caso de agregado britado, a forma da partícula depende da natureza do mineral de origem, do tipo de britador e da sua relação de redução. As pedras britadas, em geral, são classificadas como angulosas, podendo também ser alongadas ou lamelares.

A forma das partículas de um agregado pode afetar na demanda de água e na trabalhabilidade, transporte, mistura, acabamento e

resistência do concreto. Na dosagem de concreto, deve ser dada preferência às formas equidimensionais, uma vez que partículas lamelares ou alongadas tendem a ser prejudiciais. Já as partículas arredondadas tendem a dar melhor trabalhabilidade, enquanto que partículas britadas ou angulares diminuem a trabalhabilidade. Isso deve ser enfatizado já que os produtores podem, de alguma maneira, controlar a forma dos grãos através do processamento do agregado (LAY, 2003).

A Figura 1 mostra como os grãos alongados podem se comportar durante o peneiramento. Partículas com esta forma tendem a passar por malhas com abertura menor que a de sua maior dimensão (KWAN *et al*, 1999). Para diminuir os problemas causados por esta situação limita-se a abertura de malha das peneiras evitando que o agregado apresente dimensões maiores do que as desejáveis para sua devida utilização, diminuindo o tamanho das partículas e aumentando a superfície específica do agregado.

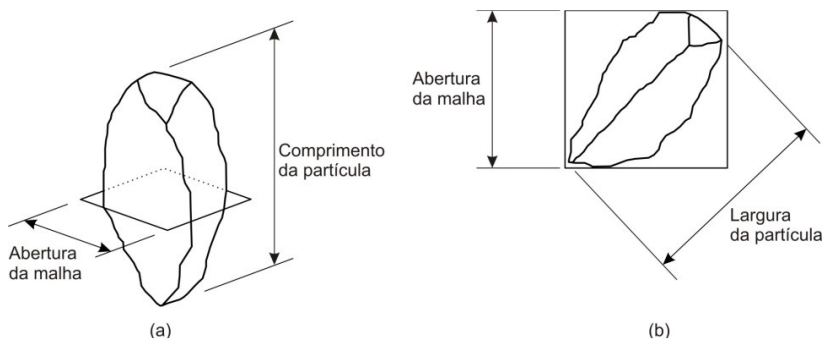


Figura 1: Partículas com comprimento (a) e largura (b) maiores que a abertura da malha da peneira (adaptado de KWAN *et al*, 1999)

De acordo com Helene e Terzian (1993), quanto maior a dimensão máxima característica do agregado, mais econômico será o concreto. Lay (2003) afirma que, do ponto de vista da economia e da menor superfície específica, aparentemente os agregados graúdos de maior tamanho são melhores. Porém, o seu uso apresenta outras implicações. Quando o processo de transporte for por bombeamento, esse uso estará relacionado com as exigências dos equipamentos utilizados. Em concreto armado, existem limitações estruturais relativas ao cobrimento da armadura e espessura da seção de concreto, determinados em norma, além do congestionamento provocado pelo espaçamento das barras de armadura.

Outro problema ocorre com materiais de maiores dimensões. Quando se diminui a superfície específica, demandando menos água, diminui-se também a área de aderência. Além disso, grãos maiores, de um mesmo material britado, tendem a apresentar mais defeitos que partículas menores, surgindo então um efeito adverso do aumento da dimensão máxima do agregado. O equilíbrio dos efeitos depende da resistência e trabalhabilidade desejadas para a mistura. Para concretos convencionais, predomina o efeito sobre a demanda de água para os tamanhos de grãos inferiores a 38,1 mm, ficando entre 20 mm e 40 mm a dimensão máxima característica ideal. Para concretos de alto desempenho, agregados de 10 mm são melhores (NEVILLE, 1997; LAY, 2003).

Segundo Valverde (2005), citado em Sbrighi Neto (2007), até 2005, os principais usos de britas, por setores, se dividiam da seguinte maneira: 40% para pavimentação / órgãos públicos, 15% para concreteiras, 5% para pré-moldados, 20% para o varejo, 10% para a construção civil de grandes obras e o restante sendo utilizadas com outras aplicações diversas, como, decoração, pátios, etc..

Com a aceleração do desenvolvimento nos últimos anos, ocorreu um aumento na demanda para uso em concretos de cimento Portland, criando a necessidade de incremento de produção, provocando o desenvolvimento das britagens com a utilização de novos equipamentos. Desta forma surgiu a oportunidade de produção focada na indústria do concreto. Como visto anteriormente, este setor correspondia apenas a uma pequena parcela do mercado. Sendo assim, a produção das pedreiras tinha como regra geral a estratégia de produção do maior volume possível, com o menor custo, tendo como objetivo atender às obras de pavimentação e órgãos públicos que demandavam este perfil estratégico, ficando a indústria do concreto em segundo plano, tendo que se adaptar aos agregados disponíveis em cada região.

Com a sustentabilidade econômica criada para que as pedreiras pudessem focar sua produção em agregados para concreto e o uso de britadores mais modernos, principalmente os impactores de eixo vertical (*VSI-Vertical Shaft Impact*), as características dos agregados, especialmente quanto à forma e textura dos grãos, têm sido melhoradas. Permitiu-se, assim, o aumento do tamanho do material, devido à maior cubicidade e arredondamento provocados na fragmentação de rochas com estes equipamentos.

Diante do exposto, é possível verificar a importância dos agregados na dosagem do concreto, quais as suas características mais relevantes e como estas podem ser melhoradas.

Diversos trabalhos já contribuíram para o entendimento da evolução do agregado miúdo destinado a utilização em concretos de cimento Portland, podendo-se citar Weidmann (2008) e Damo (2011).

Sobre o agregado graúdo pouco se têm pesquisado. Conforme visto anteriormente, a distribuição granulométrica sozinha não é o suficiente para avaliar este material, existindo uma dependência entre a granulometria e a forma que deve ser considerada. Na prática verifica-se que o agregado com maior número de partículas achatadas e/ou alongadas deveria ter menor dimensão. Acredita-se que, à medida que se têm maior número de grãos cúbicos, seria possível aumentar o teor de material retido nas peneiras 19 mm e 25 mm, melhorando o desempenho de concretos feitos com este agregado e reduzindo os custos de produção, devido à diminuição de rebitagem.

Desta forma, este trabalho se propôs a realizar estudos em concretos convencionais, comumente produzidos pelas concreteira, buscando a otimização da granulometria de agregados graúdos de britagem para uso em concretos dosados em central.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal colaborar para o estudo da influência da granulometria e forma de agregados graúdos de britagem para uso em concretos dosados em central.

Os objetivos específicos são:

- Verificar a influência do tipo de equipamento de cominuição na forma dos grãos, em diferentes litologias;
- Avaliar o desempenho de distintos agregados graúdos de britagem com diferentes índices de forma, inseridos em concretos;
- Estudar correlações entre a forma e a dimensão máxima do agregado graúdo;
- Verificar a influência da forma e do tamanho dos grãos de agregados graúdos de britagem nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado na seguinte forma:

Capítulo 1 Introdução, em que são feitas as considerações iniciais com informações sobre o tema e o contexto em que o trabalho se

insere e a justificativa do estudo, os objetivos e a estruturação do trabalho.

Capítulo 2 Revisão Bibliográfica, em que se apresentam informações da bibliografia sobre o assunto, permitindo a melhor compreensão sobre o objeto de estudo, especialmente sobre agregados para uso em concreto de cimento Portland, como são produzidos, quais características podem ser trabalhadas e os limitadores técnicos de utilização.

Capítulo 3 Método de Trabalho, onde são apresentados os métodos e recursos utilizados no desenvolvimento dos estudos.

Capítulo 4 Apresentação e análise dos resultados, em que são apresentados e analisados resultados obtidos no programa experimental desenvolvido no método de trabalho.

Capítulo 5 Considerações finais, onde são apresentadas as conclusões deste trabalho.

Referências Bibliográficas, em que se apresentam as referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho.

Anexos, onde se apresentam documentações complementares ao trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Agregados para Concreto de Cimento Portland

2.1.1 Definição

Segundo a NBR 9935 (ABNT,1987), “agregado é o material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassa e concreto”.

Para Sbrighi Neto (2011), a definição que melhor representa o agregado é: agregado é um material granular, sem forma ou volume definido, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, especialmente para a produção de concretos e argamassas de cimento Portland.

“De definição relativamente simples, embora abrangente, os agregados são bens minerais de suma importância para o desenvolvimento socioeconômico do País e fundamental para a melhoria da qualidade de vida de um povo. Constituem-se num dos bens minerais mais consumidos no mundo, requeridos abundantemente para satisfazer desde as elementares necessidades de moradia até as mais elaboradas obras de infraestrutura”
(CAMPOS et al., 2007).

2.1.2 Classificação

Os agregados podem ser classificados quanto à origem, dimensão dos grãos e massa unitária.

2.1.2.1 Classificação quanto à origem e características dos agregados naturais

Quanto à origem, os agregados podem ser classificados em:

- **Naturais**, que são encontrados na natureza, fragmentados por processos naturais de intemperismo e abrasão ou submetidos a processo de cominuição, geralmente por britagem;
- **Artificiais**, derivados de processos industriais;

- **Reciclados**, podem ser resíduos industriais granulares (ex. escória de alto-forno) ou entulho de construção/demolição selecionado.

Como o presente trabalho se restringe ao estudo de agregados naturais de britagem, a seguir são descritas suas principais características.

“Os agregados naturais constituem a classe mais importante de agregados para a produção de concreto de cimento Portland” (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Todas as partículas de agregados naturais inicialmente faziam parte de uma massa maior, que foi reduzida por processos naturais de intemperismo e abrasão ou então por processos artificiais através da britagem. Assim, muitas propriedades do agregado dependem inteiramente das propriedades da rocha-mãe, destacando-se a composição química e mineralógica, características petrográficas, densidade de massa, dureza, resistência, estabilidade química e física, estrutura de poros e cor (NEVILLE, 1997).

Segundo Sbrighi Neto (2007), para conhecer as características dos agregados naturais que constituem mais de 90% do total dos agregados usados na produção do concreto, é importante entender suas origens e propriedades. Desta forma, algumas noções básicas de geologia e petrografia são fundamentais.

É da crosta terrestre que se retiram os agregados destinados ao uso em concreto. Esta possui aproximadamente 50km de profundidade e pode ser dividida em substrato rochoso e terrenos sedimentares. Os terrenos sedimentares se localizam sobre o substrato rochoso, originando-se devido à ação dos agentes intempéricos sobre este, que provocam sua decomposição.

De acordo com Poole e Sims (2003), todos os materiais rochosos naturais são compostos da reunião de um ou mais minerais constituintes. Um mineral é definido como uma substância inorgânica natural com composição química, estrutura atômica e propriedades físicas definidas. Os elementos químicos de que estes minerais são formados, encontram-se naturalmente presentes na crosta da terra. A Tabela 1 mostra a abundância relativa dos elementos químicos na crosta continental. Na Tabela 2 são apresentados os principais minerais constituintes da crosta terrestre, resultantes da combinação dos elementos químicos, de diversas formas. A reunião, de diversas maneiras, destes e outros minerais formam as rochas (SBRIGHI NETO, 2005).

Conforme Poole e Sims (2003), as rochas podem ser divididas em três grandes grupos:

1. rochas ígneas: são formadas quando a rocha derretida, chamado magma, é gerada abaixo ou dentro da crosta terrestre e cristaliza como rocha sólida através de resfriamento, tanto na superfície terrestre como lava (rochas extrusivas), ou dentro da crosta como uma intrusão (rochas intrusivas). São exemplos de rochas ígneas basalto, granito, diabásio, etc..
2. rochas sedimentares: são formadas pelo acúmulo de fragmentos de rochas pré-existentes, gerados pela erosão ou degradação química ou pela dissolução e subsequente precipitação de minerais solúveis, ou ainda pela ação biológica. São exemplos de rochas sedimentares arenito, argilito, calcário, gipsita, turfa, etc..
3. rochas metamórficas: são formadas de rochas pré-existentes de qualquer tipo, sedimentares ou ígneas, que foram submetidas a longos períodos de aumento de temperatura e/ou pressão no interior da crosta. Dependendo da severidade e do tempo a que estas rochas são submetidas a altas temperaturas e pressão, sofrem progressivamente alterações (metamorfismo), resultando na formação de novos minerais e modificando sua aparência original. São exemplos de rochas metamórficas gnaiss, mármore, xisto, filito, entre outros.

Tabela 1: Abundância dos elementos químicos na crosta continental, em massa (adaptado de POOLE e SIMS, 2003).

Elemento	% massa
Oxigênio	46,4
Silício	28,2
Alumínio	8,2
Ferro	5,6
Cálcio	4,2
Magnésio	2,3
Sódio	2,4

Continua

Continuação

Potássio	2,1
Outros	0,6
Total	100

Tabela 2: Estimativa sobre a constituição mineralógica da crosta continental, em volume (adaptado de SBRIGHI NETO, 2005).

Grupos de minerais	% volume
Feldspatos	58
Piroxênios, anfibólios	13
Quartzo	11
Micas, argilo-minerais	10
Carbonatos, óxidos e sulfetos, halóides	3
Olivinas	3
Epidotos, alumo-silicatos, zeólitas	2

Considerando-se apenas a origem das rochas usadas na produção do agregado, Sbrighi Neto (2005) afirma que pode-se prever que, comparativamente, as rochas ígneas são aquelas com melhores condições, como matéria-prima, devido à sua composição mineralógica, textura e estrutura porque tendem a produzir microestruturas mais densas e compactas. As rochas metamórficas também mostram bom potencial como matéria prima na produção de agregados para concreto, mas a textura orientada como, por exemplo, no xisto pode ser limitante do seu uso. Das famílias de rochas, a que apresenta menor aptidão na produção de agregado para concreto são as sedimentares. Sua porosidade quase sempre alta, menor resistência mecânica e, em alguns casos, estrutura em forma de camadas dificultam seu desempenho na forma granular e são utilizadas somente quando o nível de exigência técnica é baixo. Alguns calcários compactos apresentam-se como exceção a essa regra.

“Outra diferença pode ser feita entre agregados reduzidos ao seu tamanho presente por agentes naturais e agregados britados, obtidos por fragmentação intencional de rochas” (NEVILLE, 1997). A Figura 2 mostra a produção de agregados de várias fontes, no Reino

Unido, no período de 1965 a 1998. Este gráfico foi extraído de Poole e Sims (2003 – pag. 5/14).

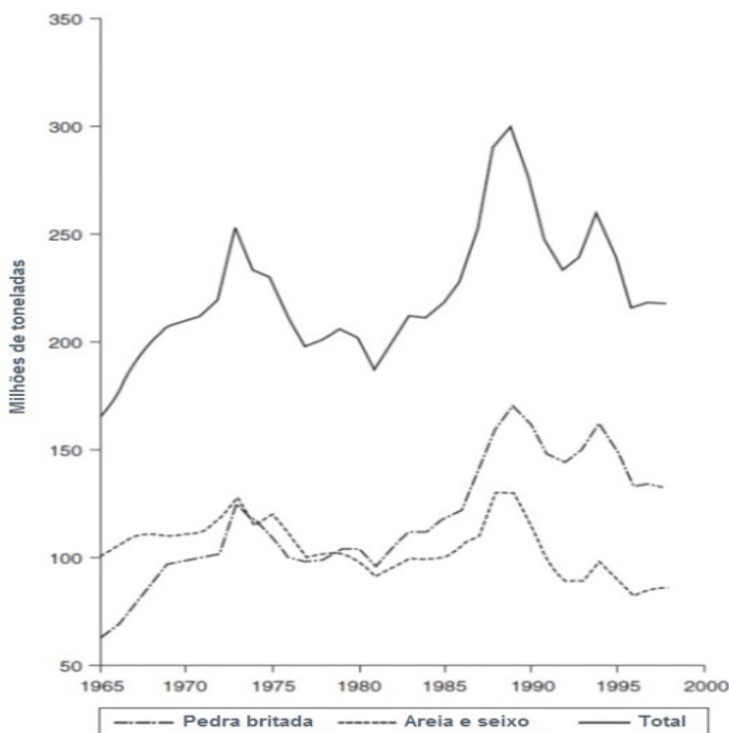


Figura 2: Produção de agregado de várias fontes, no Reino Unido, no período de 1965 a 1998 (adaptado de POOLE E SIMS, 2003).

No Brasil, nota-se a mesma tendência. Weidmann (2008) afirma que a utilização de agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland, em substituição parcial ou total as areias naturais, tem crescido consideravelmente nos últimos anos no Brasil. Dentre os principais motivos, estão o aumento das restrições ambientais à exploração e a escassez das jazidas de areia natural de boa qualidade, próximas aos grandes centros consumidores. A prática mostra que jazidas de seixo rolado (nome dado ao agregado graúdo resultante de ações de intemperismo) com quantidade e qualidade satisfatórias ao concreto, são extremamente raras.

Não foram encontrados registros nacionais demonstrando comparativamente o comportamento de produção e comercialização dos

agregados naturais e britados. Estas condições dependem fortemente de fatores regionais. Contudo a perspectiva de mercado aponta para a evolução da produção de agregados tendendo para os processos de cominuição de rochas.

Na Figura 3, está demonstrado a quantidade produzida de agregado por ano no Brasil, de 2001 até 2007. O consumo de agregados coincide com o próprio quantitativo produzido, pois o comércio exterior deste produto é praticamente inexistente (LA SERNA E REZENDE, 2009).

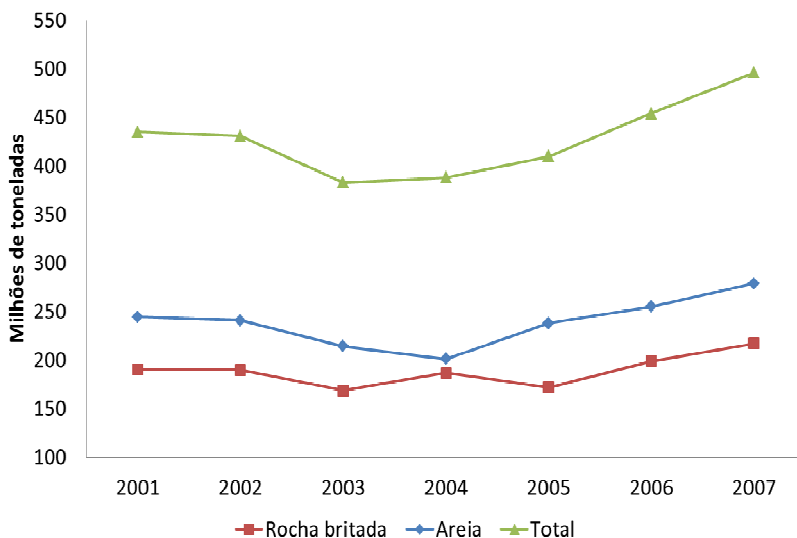


Figura 3: Produção nacional de agregados.

“Todavia, algumas propriedades dos agregados não estão presentes na rocha-mãe, podendo-se citar, forma, tamanho e textura superficial” (NEVILLE, 1997). Sabendo, que os produtores podem exercer algum controle nas características dos agregados durante o processamento (LAY, 2003), neste trabalho foi dada ênfase às melhorias nas características dos agregados graúdos naturais, resultantes do processo de britagem de rocha.

2.1.2.2 Classificação quanto à dimensão dos grãos.

Os agregados podem ser divididos em agregados graúdos e agregados miúdos, dependendo do tamanho das partículas, que é definido por aberturas de malhas de peneiras (GIAMMUSSO, 1992).

A NBR 7211(ABNT, 2009), define que:

- **Agregado miúdo** é o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 3, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1(ABNT, 2010).
- **Agregado graúdo** é o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 4, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1(ABNT, 2010).

As versões mais antigas da norma NBR 7211 utilizavam a nomenclatura de: brita 0, brita 1, brita 2, brita 3 e brita 4, de acordo com a distribuição granulométrica apresentada pelo material. A partir de 2005 mudou-se esta especificação para zonas granulométricas, conforme é apresentado na Tabela 4, sendo que os limites das faixas granulométricas também foram ampliados. Todavia, a nomenclatura anterior continua sendo amplamente utilizada, inclusive quando se utiliza a composição entre duas zonas granulométricas, como por exemplo: composição entre as zonas granulométricas 4,75/12,5 e 9,5/25 corresponde comercialmente a brita 0 e 1.

Tabela 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211(ABNT, 2009)).

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0

Continua

Continuação

6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,2. a 2,90

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Tabela 4: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo (NBR 7211(ABNT, 2009)).

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica - d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 25 ^b	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	65 ^b - 95	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ^b	92 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ^b	65 ^b - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-

Continua

Continuação					
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco percentuais em apenas um dos limites marcados com ^b. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites

A norma NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 1997), especifica os requisitos técnicos e os correspondentes métodos de ensaio para as peneiras de tecido metálico de aberturas quadradas (NBR NM ISO 565 (ABNT, 1997)).

A norma C33/C33M – 11a (ASTM, 2011), classifica agregado miúdo e agregado graúdo, para concreto hidráulico, da seguinte forma:

- Agregado miúdo será constituído de areia natural, areia de brita, ou a combinação de ambas.
- Agregado graúdo será constituído de pedregulho, pedregulho britado, rocha britada, escória de alto forno, concreto de cimento Portland britado (tomando as devidas precauções), ou a combinação deles.

Tanto o agregado graúdo quanto o miúdo, deverão ser graduados conforme os limites apresentados na Tabela 5 apresentada a seguir, adaptada da tabela 2 da norma C33/C33M – 11a (ASTM, 2011). A tabela original apresenta mais informações sobre faixas granulométricas para agregados com maiores dimensões. Como o foco deste trabalho é o agregado graúdo para concreto dosado em central de linha e por questões de apresentação, alguns dados foram suprimidos. A tabela completa de exigências de graduação para agregados graúdos se encontra na página 12 da citada norma.

Tabela 5: Tabela adaptada de exigências de graduação de agregados graúdos da norma C33/C33M – 11^a (ASTM, 2011).

Dimensão Nominal (Peneiras com abertura quadrada)	Porcentagem, em massa, retida acumulada								
	37,5mm	25,0mm	19,0mm	12,5mm	9,5mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm	300µm
25,0 a 12,5 mm	0	0 - 10	45 – 80	90 - 100	95 - 100				
25,0 a 9,5 mm	0	0 - 10	15 – 60	60 - 90	85 - 100	95 - 100			
25,0 a 4,75 mm	0	0 - 5		40 - 75		90 - 100	95 - 100		
19,0 a 9,5 mm		0	0 – 10	45 - 80	85 - 100	95 - 100			
19,0 a 4,75 mm		0	0 – 10		45 - 80	90 - 100	95 - 100		
12,5 a 4,75 mm			0	0 - 10	30 - 60	85 - 100	95 - 100		
9,5 a 2,36 mm				0	0 - 15	70 - 90	90 - 100	95 - 100	
9,5 a 1,18 mm				0	0 - 10	45 - 80	70 - 95	90 - 100	95 - 100
4,75 a 1,18 mm					0	0 - 15	60 - 90	90 - 100	95 - 100

Em nota, esta norma diz que os intervalos mostrados nesta tabela são, por necessidade, muito grande, isto para acomodar as condições de todo o país (Estados Unidos). Para controle de qualidade de qualquer operação específica, o produtor deve desenvolver uma classificação média para a fonte específica e instalações de produção, devendo controlar os graus de produção dentro de tolerâncias razoáveis dessa média.

2.1.2.3 Classificação quanto à massa unitária.

Conforme Mehta e Monteiro (1994), massa unitária é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. Ou seja, o termo massa unitária é relativo ao volume ocupado por ambos agregados e vazios.

A massa específica, que será visto adiante, se refere ao volume das partículas isoladamente, não sendo possível arrumar essas partículas de modo que não existam vazios entre elas. Quando o agregado for quantificado em volume, precisa se conhecer a quantidade de material que preenche um espaço com capacidade igual à unidade de volume (NEVILLE, 1997).

Neville (1997), afirma que é evidente que a massa unitária depende de como o agregado tenha sido adensado e, para um material com uma dada massa específica, a massa unitária depende da distribuição de tamanhos e da forma das partículas. Grãos de um tamanho único podem ser adensados até certo limite, mas podem ser adicionadas partículas menores nos vazios entre as maiores, aumentando assim o valor da massa unitária do material.

Da mesma maneira, Lay (2003), assegura que a densidade solta reflete a granulometria e forma do agregado, uma vez que mede as proporções de vazios de um determinado volume de agregado.

“A forma das partículas influencia muito a compactidade da arrumação que pode ser obtida” (NEVILLE, 1997). Para um agregado graúdo com uma dada massa específica, uma massa unitária mais alta significa que existem menos vazios a serem preenchidos por agregado mais fino e cimento. Então, a massa unitária real do agregado depende não somente das características do material que determinam o grau potencial de adensamento, mas também a compactação conseguida em cada caso.

A princípio, nas misturas de concreto, quanto maior a massa unitária do agregado, indicando um melhor empacotamento dos grãos, menos água ou menos pasta será necessário para uma dada

trabalhabilidade (QUIROGA e FOWLER, 2003). O melhor empacotamento dos grãos é uma função da forma, textura e granulometria dos materiais. Então, um dos objetivos da otimização dos agregados para concretos de cimento Portland é obter o melhor empacotamento dos grãos, respeitando a trabalhabilidade necessária da mistura.

“A massa unitária aproximada dos agregados comumente usados em concreto normal (densidade aproximada de 2400 kg/m^3) varia de 1300 a 1750 kg/m^3 ” (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Entretanto, agregados definidos pela norma NBR 9935 (ABNT, 2011) como leves e pesados, podem ser usados para produção dos chamados, respectivamente, concretos leves e pesados. São exemplos de agregados leves aqueles produzidos a partir da expansão de argila, escória, vermiculita, ardósia, resíduo de esgoto (parte mineral). Como exemplo de agregados pesados ou densos pode-se citar: barita (minério de bário), hematita (minério de ferro), limonita (crostas hidratadas de minerais ferruginosos) (SBRIGHI NETO, 2005).

2.1.3 Caracterização

Conforme exposto por Sbrighi Neto (2005), há uma série de características importantes que precisam ser avaliadas para qualificar agregados para uso na produção do concreto. O conhecimento destas características tem grande influência no processo de dosagem do concreto de cimento Portland (Helene e Terzian, 1993), afetando suas propriedades no estado fresco e endurecido. Tais características são apresentadas a seguir.

2.1.3.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica constitui-se na distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões, em geral é expressa em termos de porcentagens acumuladas em cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou de porcentagens entre certos intervalos de aberturas das peneiras (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

“Esta denominação um tanto grandiosa é dada a simples operação de separar uma amostra de agregado em frações, cada uma delas consistindo de partículas com igual tamanho. Na

prática, cada fração contém partículas entre determinados limites que são as aberturas de peneiras padronizadas” (NEVILLE, 1997).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), existem várias razões para a especificação de limites granulométricos dos agregados, sendo a mais importante a sua influência na trabalhabilidade e custo.

Segundo Lay (2003), a granulometria ideal dos agregados seria aquela que fornece a máxima relação de volume ocupado por agregado, enquanto se mantém a menor superfície específica deste. Isto porque os vazios não ocupados por agregados deverão ser preenchidos por pasta de cimento, e também, porque toda a superfície dos sólidos deverá ser molhada, lembrando que a uniformidade e consistência do concreto devem ser mantidas.

A NBR 7211(ABNT,2009),

Tabela 6, apresenta a série normal e série intermediária do conjunto de peneiras sucessivas que atendem à NBR NM ISO 3310-1(ABNT, 2010). A Figura 4, apresenta ilustração da análise por peneiramento.

Tabela 6: Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal) (NBR 7211 (ABNT, 2009)).

Série Normal	Série Intermediária
75mm	-
-	63mm
-	50mm
37,5mm	-
-	31,5mm
-	25mm
19mm	-
-	12,5mm
9,5mm	-

Continua

Continuação

-	6,3mm
4,75mm	-
2,36mm	-
1,18mm	-
600µm	-
300µm	-
150µm	-

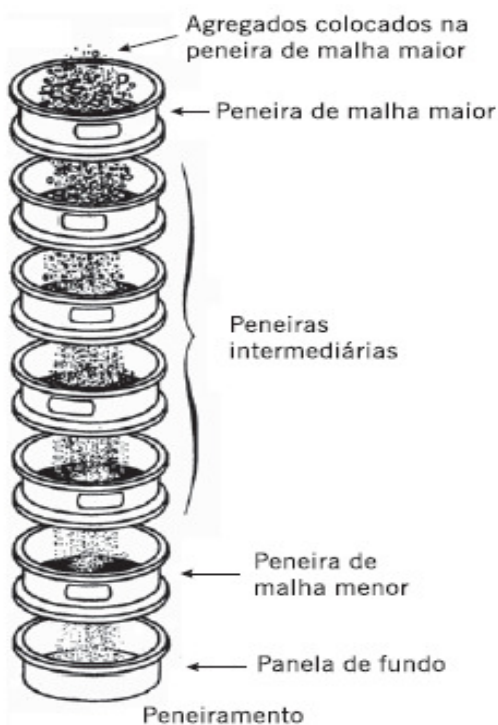


Figura 4: Ilustração da análise por peneiramento (BERNUCCI et al., 2006).

Helene e Terzian (1993), afirmam que a composição ou mistura de agregados graúdos, com a finalidade de diminuir o custo do concreto,

pode ser obtida de modo prático e simples, sem a necessidade de complicados cálculos ou difíceis traçados de curvas granulométricas.

Entre os procedimentos utilizados em métodos de dosagem está a determinação da massa unitária de várias proporções entre agregados procurando a proporção de maior massa unitária, visto que esta representa o menor volume de vazios da mistura (SBRIGHI NETO, 2005).

“Na prática, pode-se obter um pequeno volume de vazios pelo uso de agregados graúdos regularmente contínuos com proporções adequadas de areia contínua” (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Contudo, do ponto de vista da trabalhabilidade, sabe-se que, com certos materiais, a menor porcentagem de vazios não é a mais satisfatória, sendo o volume de vazios ótimo um pouco maior que o mínimo possível.

De acordo com Neville (1997), o resultado da análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente e, por essa razão, são usadas as curvas granulométricas. Porém, não existe uma curva granulométrica ideal. Além dos requisitos físicos, aspectos econômicos devem ser considerados. O concreto deve ser produzido com materiais que possam ser produzidos com custo baixo, de modo que não se podem impor limites estreitos para as especificações.

Sendo assim, os principais fatores que devem determinar a granulometria ideal do agregado são:

- Área superficial do agregado;
- Volume relativo ocupado pelo agregado;
- Trabalhabilidade da mistura;
- Tendência à segregação;
- Custo da mistura.

2.1.3.2 Dimensão máxima característica

Dimensão máxima característica é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado que corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (NBR 7211 (ABNT, 2009)).

Via de regra, quanto maior o tamanho do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume. Assim, para uma dada relação

água/cimento, diminui-se a quantidade de pasta necessária ao seu cobrimento (Mehta e Monteiro, 1994). Deste modo, quando se aumenta a dimensão do agregado, diminui-se a demanda de água para uma mesma consistência, de modo que, para uma dada trabalhabilidade e um teor de cimento especificado, a relação água/cimento pode ser reduzida, elevando consequentemente a resistência (NEVILLE, 1997).

É consenso de vários autores que esta condição é válida para concretos de resistência normal, com um tamanho máximo ideal do agregado ficando geralmente entre 20 mm e 40 mm. Para concretos de alta resistência, outros fatores têm grande influência, como por exemplo, a tendência de surgimento de microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, provocado por partículas maiores, além do efeito adverso da menor área de aderência devido à menor superfície específica como também da maior probabilidade de microfissuras internas.

Como o foco deste trabalho é o concreto de linha normal dosado em central, se estudou a influência do tamanho máximo do agregado. No item 2.4 deste capítulo são abordados os limitadores do tamanho máximo do agregado graúdo, tais como, bombeamento, espaçamento entre armaduras, dimensão das fôrmas, etc..

2.1.3.3 Módulo de finura

Por definição (NBR 7211 (ABNT, 2009)), módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Observa-se que, quanto maior o módulo de finura, mais graúdo é o agregado. Neville (1997) descreve que, o módulo de finura pode ser considerado como uma média ponderada das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal. No entanto, um parâmetro, a média, não pode ser representativo de uma distribuição, pois um mesmo módulo de finura pode representar um número infinito de distribuições de tamanhos ou curvas granulométricas completamente diferentes. Porém, é útil para detectar pequenas variações do agregado de uma mesma origem e, dentro de certas limitações, pode dar a indicação do comportamento provável de uma mistura feita com agregado de certa granulometria.

2.1.3.4 Forma e Textura superficial

Segundo Quiroga e Fowler (2003), a forma e a textura dos agregados graúdos, a princípio, parecem não ter tanta influência no comportamento do concreto quanto a forma e textura do agregado miúdo. Porém, apresentam reflexos no comportamento do concreto fresco e endurecido.

A forma e textura dos agregados graúdos afetam a demanda de argamassa. Partículas lamelares, alongadas, angulares e ásperas possuem mais vazios aumentando a demanda de argamassa, consequentemente aumentando a demanda de água. Agregados com estas características podem aumentar a segregação, resultar em misturas mais consistentes que afetam o acabamento e também influenciar no empacotamento dos grãos. O empacotamento de partículas de agregado graúdo não sofre interferência quando estes são cúbicos ou esféricos. Sendo assim, se pode esperar em torno de 4 a 5 por cento de economia de argamassa quando se utiliza agregado equidimensional ao invés de grãos lamelares e alongados (HUDSON, 1999, citado em QUIROGA e FOWLER, 2003).

“A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que endurecido. Comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto” (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Conforme Neville (1997), é difícil representar a forma de corpos tridimensionais e, por isso, é mais conveniente definir certas características geométricas desses corpos. A Tabela 7 apresenta a classificação da forma das partículas com sua descrição.

Tabela 7: Classificação da forma de partículas do agregado (adaptado de Neville, 1997).

Classificação	Descrição
Arredondado	Completamente erodido pela água ou pelo atrito
Irregular	Naturalmente irregular ou parcialmente desgastado por atrito, com cantos arredondados
Lamelar	Material em que a espessura é pequena em relação as outras dimensões
Anguloso	Possuem arestas bem definidas formados pela interseção de faces relativamente planas
Alongado	Geralmente anguloso, em que o comprimento é bem maior do que as outras dimensões
Discóide	Comprimento muito maior do que a largura e largura muito maior do que a espessura

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o agregado deve ser, relativamente, isento de partículas alongadas e lamelares. As partículas alongadas e/ou em forma de lâmina devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15%, em massa, do total do agregado.

Para o agregado graúdo, a forma equidimensional das partículas é preferível porque os grãos que se afastam deste formato têm maior área superficial e se acomodam de modo anisotrópico. Dois tipos de partículas que se afastam da forma equidimensional apresentam interesse: alongadas e lamelares. As partículas lamelares, em especial, podem prejudicar a durabilidade do concreto visto que tendem a se orientar segundo um plano, com a água de exsudação e bolhas de ar se acumulando sob elas (NEVILLE, 1997).

A NBR 7809 (ABNT, 2008), prescreve o método através do qual se determina o índice de forma do agregado graúdo. O índice de forma é a média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, não devendo ser superior a 3 (NBR 7211 (ABNT, 2009)), sendo que quanto mais próximo de 1 mais equidimensional serão as partículas.

Na norma NBR 7809 (ABNT, 2008), o grau de cubicidade do agregado graúdo é definido usando duas dimensões obtidas pelo Método

do Paquímetro. Já a norma NBR 5564 (ABNT, 2011), utiliza também o paquímetro, porém, usando três dimensões para determinação da forma dos fragmentos de pedra britada. Neste procedimento, conforme apresentado na Figura 5, imagina-se um paralelogramo onde a partícula possa ser circunscrita, medindo-se, a sua maior dimensão (comprimento a, distância entre A e B), sua dimensão intermediária (largura b, distância entre duas retas paralelas à reta AB, tangenciando C e D) e a sua menor dimensão (espessura c, distância entre dois planos paralelos às retas AB e CD e que tangenciam a superfície da partícula).

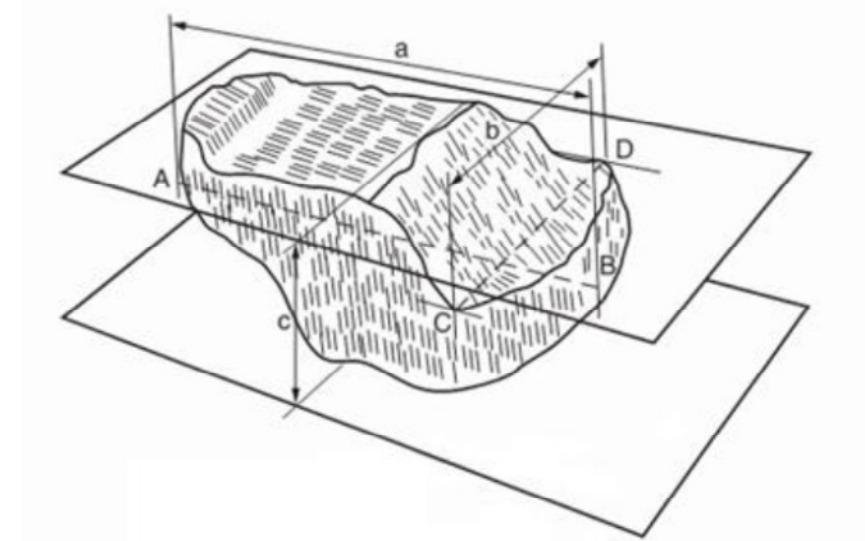


Figura 5: Dimensões do fragmento a serem medidas (adaptado da ABNT NBR 5564:2011)

O alongamento e/ou a lamelaridade são obtidos relacionando entre si as razões espessura/largura (c/b) e largura/comprimento (b/a). Com base nestas relações, a Tabela 8 apresenta a classificação da forma das partículas, segundo a NBR 5564 (ABNT, 2011).

Tabela 8: Classificação da forma das partículas (NBR 5564 (ABNT, 2011)).

Relações b/a e c/b	Classificação da forma
$b/a \geq 0,5$ e $c/b \geq 0,5$	Cúbica

Continua

Continuação

$b/a < 0,5$ e $c/b \geq 0,5$	Alongada
$b/a \geq 0,5$ e $c/b < 0,5$	Lamelar
$b/a < 0,5$ e $c/b < 0,5$	Alongada-lamelar

A Figura 6 resume esquematicamente essa classificação.

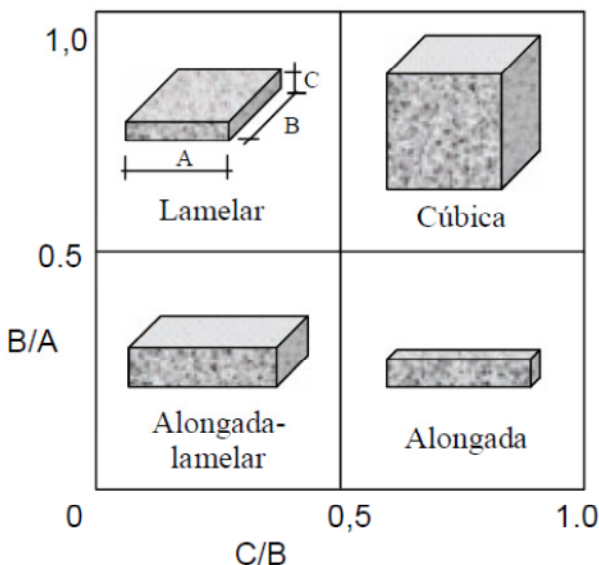


Figura 6: Formas dos agregados (FARIAS e PALMEIRA, 2010).

De acordo com Lay (2003), o ensaio de forma mais comum para agregados graúdos é o índice de lamelaridade (*flakiness index*), baseado na “*British Standards*”, BS 812:Seção 105.1:1989. Neste ensaio, se pelo menos uma dimensão da partícula for inferior a 60 por cento da sua dimensão média, sendo este tamanho médio a média das peneiras utilizadas na separação de cada fração granulométrica, esta partícula é considerada lamelar. Também baseado na “*British Standards*”, BS 812:Seção 105.2:1990, o índice de alongamento de agregados graúdos pode ser determinado através do ensaio “*elongation index of coarse aggregate*”. Neste caso, as partículas do agregado são consideradas alongadas se o seu comprimento (maior dimensão) for maior que 1,8 da sua dimensão média, sendo a dimensão média a mesma considerada no

ensaio do índice de lamelaridade. Os resultados são apresentados como porcentagem em massa de partículas lamelares ou alongadas na amostra.

Não existem limites definidos de partículas alongadas para os ensaios apresentados pela norma britânica. Geralmente é considerada indesejável a presença de mais de 10% a 15%, em massa. Já o índice de lamelaridade é limitado em 40% para o agregado graúdo britado, segundo a norma BS 882:1992 (NEVILLE, 1997).

A Figura 7 apresenta os gabaritos utilizados nos ensaios.

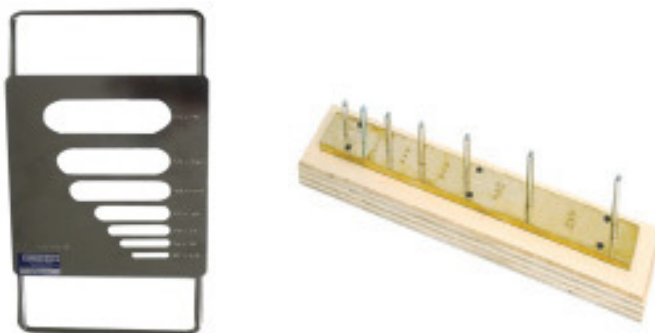


Figura 7: Placa de Lamelaridade (esquerda) e Cálibre de partículas Alongadas (Catálogo SOLOTEST, 2012)

Segundo Quiroga e Fowler (2003), a análise de imagem tem um grande potencial para caracterizar a forma e textura do agregado graúdo. No entanto, não existem métodos normatizados para os ensaios. Os métodos tradicionais vistos anteriormente são feitos manualmente demandando grande tempo de execução, (KWAN *et al*, 1999). Devido a isso, foram desenvolvidos outros métodos de determinação da forma dos agregados que se baseiam no processamento de imagens digitais, inclusive com equipamentos específicos para este fim, podendo-se citar o HAVER TYLER CPA 2-1 da W.S. TYLER (Figura 8) e o CAMSIZER da Retsch Technology (Figura 9), porém, ainda não estão sendo utilizados em escala de produção de agregados para concreto. Os equipamentos acima citados apresentam elevados custos inviabilizando sua utilização como ferramenta de controle tecnológico de agregados para concreto de cimento Portland, no Brasil, até presente momento.

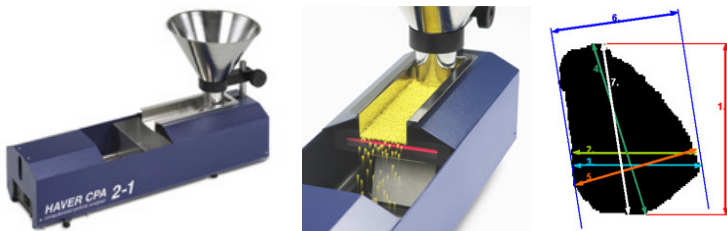


Figura 8: CPA PARTICLE SIZE AND PARTICLE SHAPE ANALYSER (Catálogo WSTYLER, 2012).



Figura 9: Dynamic Image Analysis System Particle Size (Catálogo HORIBA, 2012).

Como visto anteriormente, os produtores podem exercer algum controle sobre a forma dos grãos, no caso de agregado britado. A forma da partícula depende da natureza do material de origem, do tipo de britador e da sua relação de redução.

Conforme citado por Mehta e Monteiro (1994), e Neville (1997), outro termo para descrever a forma de agregados graúdos é a área específica volumétrica ou esfericidade.

Um cuidado que se deve ter é que, no Brasil, o termo esfericidade é usado apenas de forma qualitativa, servindo para classificar tanto partículas angulosas quanto arredondadas, em alto e baixo grau de esfericidade, conforme se aproximem ou não da forma esférica.

Com relação ao arredondamento, Powers (1953), citado em Muniz de Farias e Marques Palmeira (2010), classifica as partículas como: bem arredondada (esférica), arredondada, subarredondada, subangulosa, angulosa e muito angulosa (Figura 10). Do ponto de vista da resistência, as partículas angulosas provocam uma melhor relação entre as partículas individuais, porém partículas angulosas têm maior área superficial exigindo uma maior quantidade de água para a mesma trabalhabilidade em concretos hidráulicos.

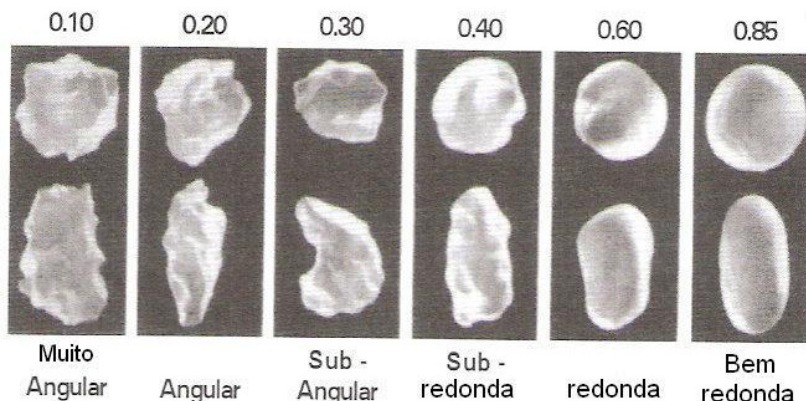


Figura 10: Arredondamento (POWERS, 1953, citado em FARIAS e PALMEIRA, 2010).

No caso em questão, a área específica volumétrica ou esfericidade, é definida como a relação entre a área superficial das partículas e o seu volume. Partículas bem arredondadas têm baixo valor de área específica, enquanto partículas alongadas e achatadas possuem valor elevado de área específica. Grãos com elevada relação entre área superficial e volume, aumentam a demanda de água para uma dada trabalhabilidade do concreto.

Esta característica de forma do agregado graúdo se mostra bastante útil para comparar diferentes materiais, como também para avaliar o desempenho do equipamento de britagem utilizado na cominuição de rocha.

“A textura superficial do agregado tem influência sobre a sua aderência à pasta de cimento e também na demanda de água da mistura, especialmente no caso do agregado miúdo” (NEVILLE, 1997).

Segundo Lay (2003), a textura somente será um problema em concretos onde a resistência à flexão é importante, ou em concretos de alta resistência. Mehta e Monteiro (1994) afirmam que há evidências de que, pelo menos nas primeiras idades, a resistência do concreto, particularmente a resistência a flexão, pode ser afetada pela textura do agregado. Em idades mais avançadas, com o desenvolvimento de uma forte aderência química entre a pasta e o agregado, esse efeito pode não ser tão importante.

A Tabela 9 apresenta classificação da textura superficial dos agregados com grupos e características.

Tabela 9: Textura Superficial dos Agregados(adaptado de Neville, 1997).

Grupo	Textura	Característica
1	Vítrea	Fratura conchoidal
2	Lisa	Erodido por água, ou devido à fratura de cristais finos ou laminares
3	Granulosa	Fratura mostrando grãos uniformes mais ou menos arredondados
4	Áspera	Fratura áspera de rochas fina ou grosseiramente granuladas com cristais não facilmente visíveis
5	Cristalina	Com constituintes cristalinos facilmente visíveis
6	Alveolar	Com poros e cavidades visíveis

A classificação da textura superficial é baseada em uma avaliação visual (MEHTA e MONTEIRO, 1994). A textura superficial depende da dureza, granulação e características de porosidade da rocha-mãe e da sua subsequente exposição à ação de atrito, podendo variar de vítrea a alveolar.

Quando uma avaliação de textura superficial é necessária, normalmente é fornecida uma descrição qualitativa. Métodos quantitativos tendem a ser trabalhosos, não sendo amplamente utilizados (LAY, 2003).

Kekec *et al* (2006), afirmam que a relação entre as propriedades mecânicas e físicas de um determinado material é muito maior que entre as suas propriedades de textura e físicas.

Diante do exposto, neste trabalho se avaliou a forma do grão, ficando a textura como informação complementar.

2.1.3.5 Resistência mecânica

Quiroga e Fowler (2003) afirmam que a resistência e a dureza do agregado graúdo influenciam o comportamento do concreto endurecido. Em concretos normais, a resistência é controlada pela pasta ou pela zona de transição entre a pasta e o agregado. Já a resistência de

concretos de alto desempenho depende não só da resistência do agregado, mas também origem mineralógica deste.

Conforme Mehta e Monteiro (1994) e Sbrighi Neto (2005), a resistência à compressão, a resistência à abrasão e o módulo de elasticidade dos agregados são propriedades interligadas, sendo muito influenciadas pela porosidade do próprio agregado. Os agregados naturais usados na produção do concreto, de modo geral, têm resistência mecânica muito superior à do próprio concreto, raramente se constituindo num fator limitante. Lay (2003) concorda e afirma que na prática é provável que a resistência do concreto seja muito menor que a resistência do agregado por que as tensões geradas são partilhadas entre agregado e pasta. Como a resistência da pasta é inferior a do agregado, essa irá romper primeiro.

Como, no presente trabalho, tratou-se do concreto de linha dosado em central, a resistência mecânica não deve apresentar influência.

2.1.3.6 Massa específica e Massa unitária

O agregado possui poros que podem ser permeáveis ou não. Dessa maneira, existem vários tipos de massa específica (NEVILLE, 1997). Segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2002), massa específica é a relação entre a massa do agregado e seu volume, excluindo os poros permeáveis e massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

No caso do concreto de cimento Portland, a água contida nos poros do agregado não participa nas reações químicas do cimento, podendo ser considerada parte do agregado. Sendo assim, nos cálculos do concreto, se utiliza a massa específica aparente, na condição saturada superfície seca (SSS). A massa específica do agregado graúdo saturado superfície seca é mais fácil de ser determinada sendo utilizada nos cálculos de dosagem de concreto e das quantidades de agregados para certo volume de concreto.

A massa específica do agregado depende da litologia do material. Para a maioria dos agregados naturais, a massa específica gira em torno de $2,7 \text{ g/cm}^3$. A Tabela 10 apresenta alguns valores comuns para diversos grupos de rochas.

Tabela 10: Massa específica aparente de diversos grupos de rochas, em g/cm³ (adaptado de Neville, 1997).

Grupo	Massa específica	Intervalo
Basalto	2,80	2,6 a 3,0
Granito	2,69	2,6 a 3,0
Arenito	2,69	2,6 a 2,9
Calcário	2,66	2,5 a 2,8
Quartzito	2,62	2,6 a 2,7

A massa unitária, que é o termo relativo ao volume ocupado por ambos, agregados e vazios intergranulares, foi abordada anteriormente no item 2.1.2.3.

2.1.3.7 Absorção e Umidade superficial

A absorção do agregado está relacionada com a porosidade das partículas. A água entra nos poros dependendo do seu tamanho, continuidade e volume total (NEVILLE, 1997). Sendo assim, diversas condições de umidade podem incidir em uma partícula de agregado. Diz-se que o agregado está na condição seco em estufa quando toda água evaporável foi removida pela secagem prolongada em estufa. Quando exposto ao ambiente, entrando em equilíbrio com o ar, diz-se que o agregado está na condição seco ao ar. No caso de todos os poros estarem preenchidos, sem formação de película de água na superfície, o agregado é considerado saturado superfície seca (SSS). A umidade superficial é a água presente no agregado além da suficiente para atingir a condição SSS (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997; SBRIGHI NETO, 2005). Os estados de umidade do agregado são representados esquematicamente na Figura 11.

Define-se absorção como sendo a quantidade de água necessária para levar o agregado da condição seco em estufa para saturado superfície seca.

Admite-se que, no momento da pega do cimento, o agregado está na condição SSS. Considerando que o agregado estocado geralmente se encontra seco ao ar, durante a dosagem do concreto, parte da água da mistura será absorvida pelo agregado até que este atinja a condição saturado superfície seca. Os dados sobre absorção de água do

agregado são necessários para corrigir a proporção de água da mistura, visto que a relação água/cimento é afetada, além de resultar em determinada perda de trabalhabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

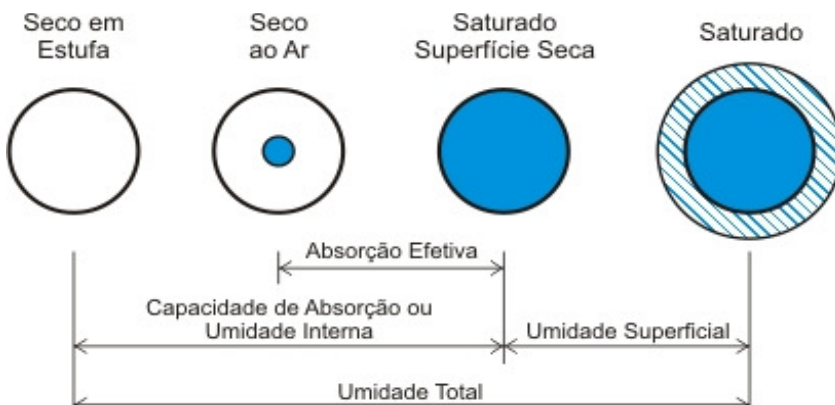


Figura 11: Representação esquemática da umidade do agregado (PRUDÊNCIO JR., 2007).

2.1.3.8 Substâncias nocivas

Os agregados podem conter vestígios de materiais chamados de impurezas e geralmente estas impurezas não somam nenhum benefício ao concreto produzido com este agregado, podendo prejudicar a trabalhabilidade, pega, endurecimento e durabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994; LAY, 2003).

Na Tabela 11 é possível verificar os limites máximos de substâncias nocivas no agregado graúdo.

Tabela 11: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material (adaptado de Sbrighi Neto, 2011).

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo - %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto Aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	0,5
Materiais carbonosos ¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa pela peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento) ^{2 3}	ABNT NBR NM 46		1,0

¹ Quando a presença de materiais carbonosos não for detectada durante a apreciação petrográfica, o ensaio dos materiais carbonosos pode ser abstraído.

² Para agregados com absorção de água inferior a 1%, provenientes de britagem de rocha, o limite de material fino passa para 2%.

³ O limite de material fino pode ser composto de até 6,5%, para agregado total (agregado graúdo e agregado miúdo) originado de britagem de rocha, desde que os seus grãos constituintes não interfiram nas propriedades do concreto (Exemplos de materiais inadequados: micas, ferruginosos e argilo-minerais expansivos).

Segundo Sbrighi Neto (2011), as substâncias nocivas podem ser impurezas de origem orgânica, torrões de argila e materiais friáveis, além do material pulverulento (partículas com dimensão inferior a 0,075 mm).

Os agregados podem apresentar outras substâncias nocivas, podendo-se citar, minerais álcali-reativos, impurezas salinas e resíduos industriais. Porém, estas não fazem parte do escopo deste trabalho.

2.2 *Produção de agregados em pedreira*

2.2.1 Conceitos gerais

A exploração de uma pedreira tem como principal objetivo o desmonte de rocha sã, utilizando-se de diversos equipamentos, visando à obtenção de agregados com propriedades adequadas às obras de engenharia (BERNUCCI *et al.*, 2006).

O processo de produção de agregados (Figura 12), normalmente, apresenta a seguinte sequência: decapagem, desmonte, desmonte secundário (quando necessário), carregamento e transporte, britagem primária, rebritagem (ou britagem secundária, britagem terciária, e assim em diante¹), peneiramento, estocagem de agregados e expedição.

Anteriormente foi mostrado que, na produção de agregados, pode-se exercer algum controle sobre a forma dos grãos. No caso de agregado britado, a forma das partículas depende da litologia do material, do tipo de britador e da sua relação de redução. O controle sobre as características do agregado, não só da forma, mas também da composição granulométrica do material, ocorre principalmente nas plantas de britagem, que segundo Metha e Monteiro (1994), fazem parte das instalações de produção de agregado, tendo como objetivo a redução do material em frações que atendam as especificações necessárias ao consumo.

¹ Em todas as etapas de britagem, pode ser utilizado mais de um britador, daí então denominado secundário, terciário, quaternário, e assim por diante.

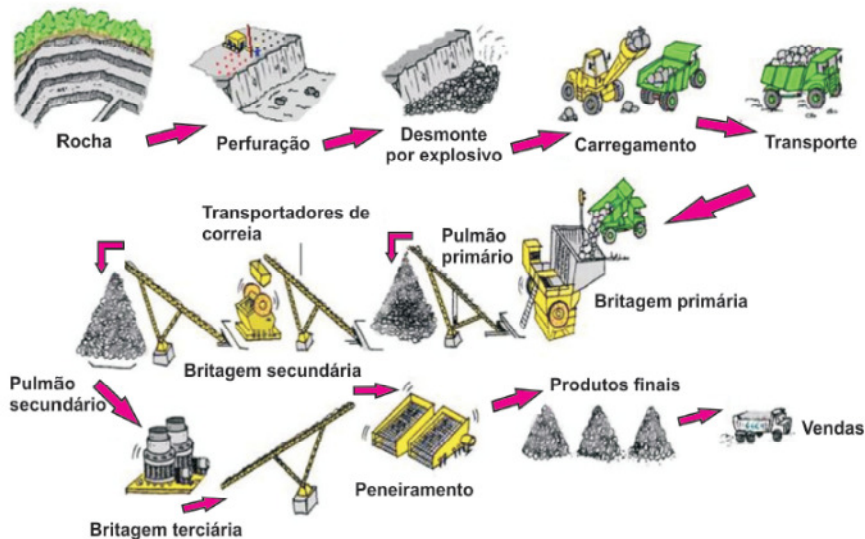


Figura 12: Fluxograma do processo de britagem (adaptado de IRAMINA *et al.*, 2009)

Uma vez que o objetivo deste trabalho é a otimização de agregados graúdos, estudaram-se as plantas de britagem. Informações mais detalhadas sobre as demais etapas de produção de agregados em pedreiras podem ser buscadas nas referências bibliográficas citadas no capítulo 6.

A cominuição e classificação dos agregados nestas plantas são feitas por equipamentos de britagem e sistemas de peneiramento instalados entre a britagem primária e a área de estocagem (Figura 12: Fluxograma do processo de britagem (adaptado de IRAMINA *et al.*, 2009). Outra opção na produção de agregados é a utilização de plantas móveis (Figura 13), que têm o objetivo de conferir maior agilidade ao processo e diminuir as distâncias de transporte.



Figura 13: Planta móvel de britagem (SANDVIK IN LATIN AMERICA, 2011).

Nas plantas de britagem, tanto nas instalações fixas quanto nas móveis, os equipamentos são similares, sendo os britadores classificados como: britadores de compressão² (esmagam o material até quebrá-lo) e britadores de impacto³ (utilizam o princípio do rápido impacto na cominuição do material). Deste modo, cada equipamento desempenha uma determinada função, conforme explicado a seguir, com informações obtidas no manual de britagem da *Metso Minerals* (2005).

2.2.1.1 Britagem primária

A função básica da britagem primária é reduzir a rocha detonada em tamanhos que permitam sua movimentação através de correia transportadora. Dependendo da origem do material (facilmente britável e não abrasivo), pode-se utilizar um britador de impacto. Embora instalações para capacidades muito altas utilizem um britador giratório

² Britadores de mandíbulas, cônicos, giratórios e de rolos operam por compressão.

³ Impactores e moinhos de martelos operam por impacto.

primário, na maioria das instalações que produzem agregados, a britagem primária é feita com britador de mandíbulas.

Nos Britadores de Mandíbulas, a britagem ocorre entre uma mandíbula fixa e uma móvel (Figura 14). Neste caso, o movimento de vai-e-vem da mandíbula móvel provoca o esmagamento da rocha contra a mandíbula fixa (Figura 15).

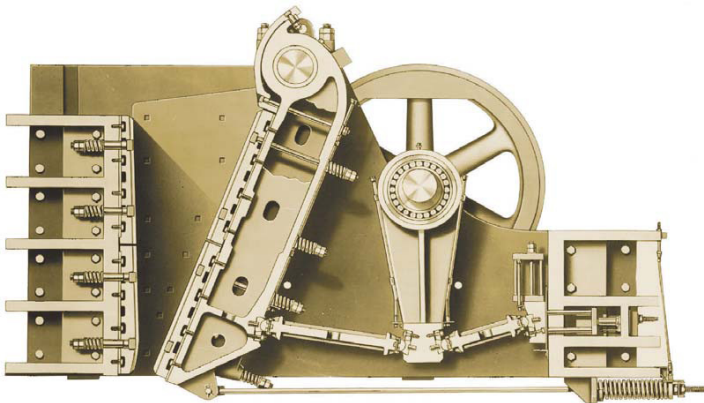


Figura 14: Britador de mandíbulas de dois eixos (METSO MINERALS, 2005)



Figura 15: Britador de mandíbulas (SANDVIK IN LATIN AMERICA, 2011).

2.2.1.2 Britagem intermediária

O objetivo desta britagem é produzir várias granulometrias grossas, como por exemplo, agregado para base, ou então, preparar o material para a rebritagem final. Chamado de britador secundário, o equipamento mais utilizado neste caso é o cônico.

Os Britadores Cônicos são máquinas com o eixo oscilante, onde a britagem ocorre entre um elemento fixo, chamado revestimento da carcaça ou bojo, e um elemento móvel interno, denominado manto, que é montado sobre o conjunto do eixo oscilante (Figura 16). A redução do material ocorre de maneira contínua ao redor da câmara, por compressão entre revestimentos, conforme mostra a Figura 17.

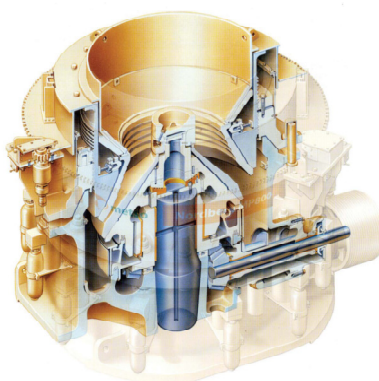


Figura 16: Britador cônico (METSO MINERALS,2005)

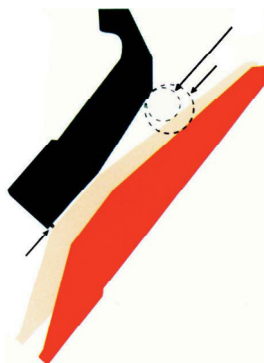


Figura 17: Redução do material entre a carcaça e o manto (METSO MINERALS,2005).

2.2.1.3 Britagem final e cubicização

Nesta fase da britagem serão determinadas as características do produto final. As especificações mais comuns, da parte dos clientes, são capacidade de produção e atendimento às faixas granulométricas normativas. Porém, os produtores de agregado para concreto podem ter exigências adicionais, tal como o formato equidimensional dos grãos.

Apesar de inicialmente custarem mais que os impactores, o rebritador cônico tem sido largamente utilizado como britador terciário, pois operacionalmente são menos onerosos, graças ao baixo desgaste da máquina quando aplicado corretamente. Devido ao aumento de exigências quanto à qualidade do material, recentemente, os impactores de eixo vertical (VSI - *Vertical Shaft Impactor*) estão substituindo os britadores de cone, ou então, compondo com estes a fase final de britagem.

Nos Britadores de Impacto de Eixo Vertical (Figura 18), a cominuição dos grãos ocorre por britagem autógena (rocha contra rocha), através de um britador centrífugo de eixo vertical, que proporciona maior arredondamento e esfericidade dos grãos.



Figura 18: VSI - “Vertical Shaft Impactor” (METSO MINERALS,2005).

2.2.1.4 Classificação por peneiramento

É a separação do agregado, por meio de um sistema de peneiramento dimensionado com telas de abertura equivalente, de modo a enquadrar o tamanho do produto em faixas granulométricas apropriadas ao seu uso, como mostrado na Figura 19.

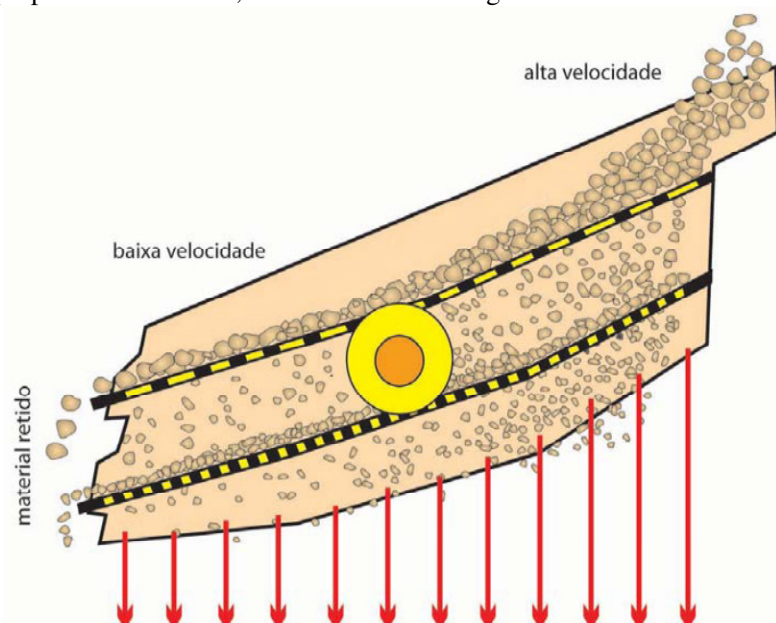


Figura 19: Princípio de funcionamento de um sistema de peneiramento (METSO MINERALS, 2005).

Quando os agregados são medidos em peneiras de laboratório, a tela que apresenta uma abertura normatizada (metálica – quadrada, NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010)), é colocada na posição horizontal e o tempo de peneiramento é suficientemente prolongado para garantir a passagem total dos grãos com dimensão inferior ao da abertura da malha usada. Então o tamanho de produto é obtido com a abertura de malha de peneira do laboratório pelo qual passa o material ensaiado.

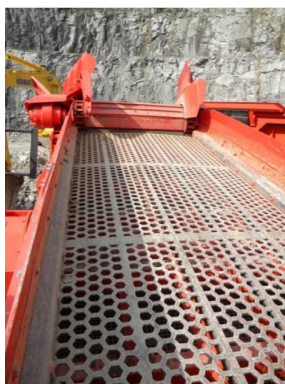
No processo de produção de agregados em pedreira, a separação do agregado ocorre de forma diferente. Comumente as peneiras vibratórias são inclinadas. O tempo que as partículas ficam expostas ao peneiramento depende da área da peneira, da velocidade que o material passa pelo peneiramento, além da espessura da camada de peneiramento

gerada pelo volume de alimentação do deck da peneira (Figura 20 a). Outro pormenor é que as telas podem ter diversas formas de abertura (retangular ou triangular, entre outras) e ainda ser produzida em outro tipo de material, que não o metálico, como por exemplo, borracha ou plástico, como pode ser observado na Figura 20 b e Figura 21. Logo, a malha de peneira vibratória deverá ter uma abertura equivalente, de modo a proporcionar um especificado tamanho de produto.

Para que se obtenha a granulometria desejada, as características dos grãos, principalmente quanto à forma, devido ao tipo de equipamento utilizado na redução do material, interferem diretamente na abertura equivalente da malha da peneira.



(a)



(b)

Figura 20: a) Deck de peneira e b) Tela com abertura hexagonal (SANDVIK IN LATIN AMERICA, 2011).



Figura 21: Telas de aço com abertura quadrada e triangular e tela de borracha com abertura quadrada (CEDRO ENGENHARIA COMÉRCIO E MINERAÇÃO, 2011).

2.3 Características com potencial para otimização

Conforme informações obtidas da literatura, algumas características são pertinentes à origem litológica do material. Outras podem ser trabalhadas de modo a colaborar com a produção de concreto hidráulico.

Mehta e Monteiro (1994) consideram mais apropriado dividir as propriedades dos agregados em grupos baseados na sua microestrutura e nas condicionantes de fabricação. Características como massa específica, absorção de água, resistência e substâncias nocivas, são dependentes da porosidade, composição química e mineralógica do agregado, relacionados à sua litologia. O tamanho, forma e textura são características que dependem não só das condições prévias de exposição, mas também das condicionantes de produção.

Campos *et al.* (2007) consideram que a instalação das pedreiras depende da realidade geológica de cada região, sendo que, na região sul do Brasil, há o predomínio de unidades de britagem instaladas em maciços de rochas basálticas, havendo alguns casos de jazidas de gnaisses e granitos. Então, a origem geológica do agregado não é uma questão de escolha, mas de disponibilidade na região. Devido aos limitadores relacionados ao transporte (custo, distância, volume e tempo), na produção de concreto de cimento Portland, os traços são desenvolvidos com os agregados disponíveis nas proximidades das centrais dosadoras.

Na maioria dos casos, as empresas prestadoras de serviços de concretagem têm a sua disposição fornecedores de agregado com material de mesma origem geológica. Então, as características dos agregados que apresentam potencial para otimização são as relacionadas ao seu tamanho, sendo elas: composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura e também as características de forma e textura, estando estas características relacionadas entre si.

2.4 Limitadores técnicos

2.4.1 Considerações iniciais

De acordo com dados fornecidos pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC, 2007), convencionalmente o transporte do concreto do ponto de descarga do caminhão até local de sua aplicação é feito por carrinhos de mão, jericas, caçambas, calhas e guas. Neste método, a produtividade é de 4 a 6

metros cúbicos por hora, com alta demanda de mão de obra e utilizando muito tempo de concretagem.

Já em 1992, Giammusso (1992), declarava não ser raro levar uma semana ou mais para se executar uma concretagem de 100 m³. Para o mesmo serviço, utilizando concreto dosado em central, transportado manualmente, o tempo gasto seria de dois dias.

A solução adotada pela indústria da construção para diminuir o tempo de concretagem é a utilização de concreto bombeado (ACI 304.2R-96). Nesse caso, o concreto é bombeado através de uma tubulação, desde o caminhão betoneira até a fôrma onde será lançado. Dentro deste contexto, além de resolver a situação de grandes alturas e grandes distâncias horizontais, entre outras vantagens, a produção média das bombas de concreto é de 35 a 45 metros cúbicos por hora (ABESC, 2007 e PILZ *et al.*, 2009), sendo possível executar em meio dia o mesmo volume de concretagem que poderia levar mais de uma semana se utilizado outro processo (GIAMMUSSO, 1992), conforme descrito no parágrafo anterior. Na Figura 22, é apresentado a concretagem de um bloco de fundação de 1.750 m³ de concreto armado, realizada em dois dias.

Sendo assim, do volume produzido em uma central de concreto, a maioria absoluta é composta de concreto bombeável, que se utiliza do bombeamento para o lançamento do material nas fôrmas (Figura 23). As características técnicas das bombas de concreto, bem como da tubulação utilizada no transporte, influenciam diretamente no dimensionamento do traço de concreto utilizado, que requer características diferenciadas para que tenha bombeabilidade.



Figura 22: Concretagem do bloco de fundação do Edifício MILLENNIUM PALACE da construtora FG EMPREENDIMENTOS, em Balneário Camboriú - SC (SETEMBRO, 2010).



Figura 23: Bombeamento utilizando bomba lança e lançamento de concreto em laje (MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL - ABESC, 2007).

Com o desenvolvimento tecnológico, as peças de concreto armado estão sendo dimensionadas cada vez mais esbeltas, com altas taxas de armadura. Esta condição tem influência direta no lançamento do concreto, que resulta em exigências específicas quanto a sua aplicabilidade (Figura 24).



Figura 24: Lançamento de concreto
(MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL - ABESC,
2007).

Aliado a isso, critérios da norma ABNT NBR 6118:2003, que visam à durabilidade das estruturas, determinam que estas sejam dependentes das características do concreto, da espessura e da qualidade do concreto de cobertura da armadura. Com isso, parte da seção transversal da peça é destinada ao cobrimento mínimo (dependente do grau de agressividade ambiental). Sendo assim, em peças esbeltas, a distribuição da armadura acaba por se concentrar mais próxima da região central da peça, utilizando-se como espaçamento entre as barras o mínimo previsto nesta mesma norma.

Conforme Helene e Terzian (1993), a granulometria de um determinado agregado tem forte influência na qualidade de um concreto, agindo na compacidade e resistência, enquanto que a dimensão máxima característica está pautada à trabalhabilidade, dependendo das fôrmas, espaçamento entre armaduras e método de transporte do concreto. Deve

ser lembrado que estas características do agregado são diretamente relacionadas à forma dos grãos.

Tanto o bombeamento quanto o lançamento do concreto apresentam condicionantes que limitam a dimensão máxima do agregado graúdo. Nos itens a seguir são abordados individualmente cada um destes processos.

2.4.1.1 Bombeamento

Bombeamento, segundo Giammusso (1992) e Andriolo e Sgarboza (1993, citado em PILZ *et al.*, 2009), é o transporte de concreto através de tubulações, utilizando bombas de concreto, que vencem grandes alturas e/ou grandes distâncias horizontais, levando o material desde o caminhão betoneira até o local de lançamento.

Existem diversos modelos de bombas, podendo ser estacionárias (ou rebocáveis), auto bomba ou auto bomba com mastro de distribuição (Figura 25).



Figura 25: Bombas de concreto: estacionária, auto bomba e auto bomba com mastro de distribuição (Catálogo SCHWING Stetter, 2012).

Em todos os modelos, o sistema mais comum de bombeamento é composto de válvulas e gavetas que distribuem o fluxo de concreto, continuamente, através de dois pistões que atuam alternadamente (GIAMMUSSO, 1992; ACI 304.2R-96; SIQUEIRA TANGO, 2005). Na Figura 26, é apresentado esquematicamente o equipamento de bombeamento, onde o concreto, por sucção, primeiramente entra num cilindro de transporte, para em seguida ser comprimido para dentro da tubulação de transporte.

O diâmetro da tubulação de transporte depende das características e potência do equipamento de bombeamento. Existem tubos desde 75 mm até 200 mm (GIAMMUSSO, 1992). Embora em algumas regiões, devido ao menor custo do equipamento, seja muito

utilizado o diâmetro de 75 mm para a tubulação de transporte (PILZ *et al.*, 2009), o diâmetro mais frequentemente utilizado é de 125 mm (GIAMMUSSO, 1992; SIQUEIRA TANGO, 2005).

Os tubos mais utilizados são os metálicos, acoplados com um mangote flexível na ponta (Figura 23). Para facilitar a operação, é comum encontrar situações onde os tubos são de diâmetro de 125 mm e o mangote com diâmetro inferior (75 mm ou 100 mm). Porém, esta prática pode causar problemas e acidentes no processo de bombeamento, devido à diminuição de seção no fim da linha de bombeamento. Neste trabalho, se considerou constante o diâmetro da tubulação.

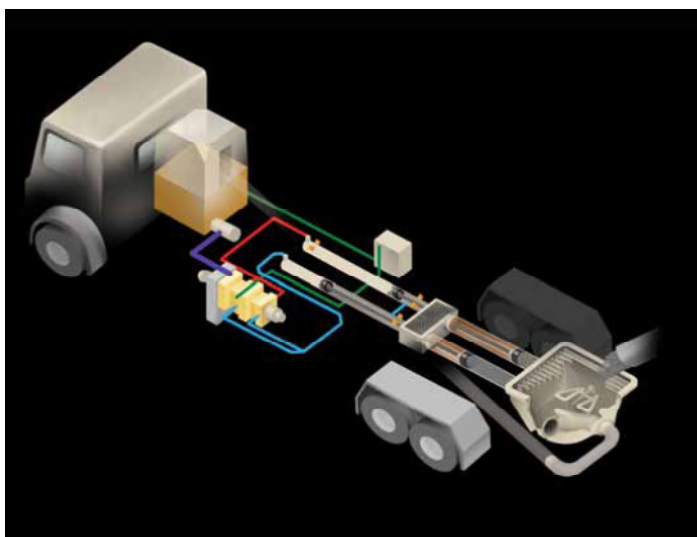


Figura 26: Esquema de funcionamento de uma bomba de concreto (Catálogo PUTZMEISTER, 2012).

Vários autores, inclusive informações fornecidas pelo fabricante (SCHWING Stetter), recomendam limitar a $1/3$ do diâmetro interno da tubulação a dimensão máxima do agregado graúdo. O comitê 304 do “*American Concrete Institute*” (ACI 304.2R-96), leva em conta a forma do agregado, limitando a $1/3$ do menor diâmetro da tubulação, o tamanho máximo dos agregados graúdos com forma angular, podendo chegar a $2/5$ do diâmetro da tubulação para grãos bem arredondados. A explicação para que seja utilizada uma dimensão máxima menor para agregados com grãos angulares é que, apesar de ambos serem bombeáveis, quando comparados, grãos angulares apresentam maior

superfície específica que os grãos arredondados, requerendo mais pasta para cobrir todas as partículas. Então, o tamanho máximo do agregado tem um efeito significativo sobre o volume ou quantidade de agregado graúdo que pode ser utilizado de forma eficiente, pois o volume de agregado graúdo deve ser substancialmente reduzido à medida que é diminuída a dimensão máxima característica. Porque quanto maior for a área de superfície do agregado para um dado peso de agregado graúdo, maior será a necessidade de argamassa para recobrir todos os grãos, sendo então a quantidade de pasta insuficiente para lubrificar a tubulação.

Não é apresentado o procedimento para uma classificação dos grãos quanto à forma (angulares ou bem arredondados). Desta forma, deve-se utilizar a pior situação que é de 1/3 do diâmetro interno da tubulação. Na Tabela 12 são apresentados os valores recomendados de dimensão máxima característica do agregado, correspondentes ao diâmetro da tubulação.

Tabela 12: Tamanho máximo do agregado graúdo de acordo com o diâmetro da tubulação de bombeamento

Diâmetro da tubulação	D_{máx} (grão angular)	D_{máx} (grão bem arredondado)
75 mm	25 mm	25 mm
100 mm	31,5 mm	37,5 mm
125 mm	37,5 mm	50 mm
180 mm	50 mm	63 mm
200 mm	63 mm	75 mm

O bombeamento de concreto é afetado pela capacidade do equipamento; controle, dosagem e mistura dos materiais constituintes e também do conhecimento e experiência do pessoal envolvido (ACI 304.2R-96). Regattieri e Maranhão (2011) apresentam um exemplo de condições de bombeamento especificadas por uma central de concreto (Tabela 13) que considera o comprimento da tubulação, se vertical ou horizontal, dimensão máxima do agregado e abatimento do tronco de cone. Verifica-se que a dimensão máxima de 25 mm é especificada somente para distâncias menores. Para as maiores distâncias, adota-se 19 mm como dimensão máxima característica do agregado graúdo, e

também, o “*slump*” é aumentado de acordo com o aumento da distância. Salienta-se que cada situação requer ponderação de modo a compatibilizar a combinação entre bomba e concreto.

Tabela 13: Exemplo de condições de bombeamento, utilizado por concreteiras para uma tubulação de 125 mm (adaptado de Regattieri e Maranhão, 2011)

Comprimento (m)		Dimensão máxima do agregado (mm)	Slump test (mm)	
Vertical	Horizontal		Abatimento	Tolerância
25	40	25	80	10
45	80	19	80	10
60	120	19	100	20
90	180	19	140	20
140	260	19	160	30

Sujeito a utilizar B0 + b1 Sujeito a utilizar superplastificante

Segundo Weidmann (2008), dos fatores que influenciam a bombeabilidade do concreto destacam-se: consistência, teor de argamassa, forma dos grãos e teor de cimento e/ou de adições minerais.

A forma do agregado graúdo exerce influência sobre a proporção da mistura (ACI 304.2R-96). Grãos angulares têm maior área de superfície por unidade de volume, quando comparados aos grãos arredondados, necessitando de maior teor de argamassa para o bombeamento. Também Weidmann (2008), afirma ser consenso na literatura que partículas lamelares e angulosas, quando comparadas com partículas arredondadas e esféricas, demandam maior pressão de bombeamento para um mesmo teor de argamassa, sendo maior esta diferença em teores de argamassa mais baixos.

Uma distribuição granulométrica contínua é essencial para evitar variabilidade de qualquer mistura. Recomenda-se considerar a curva granulométrica do agregado total na bombeabilidade do concreto. Outra recomendação é se obter misturas mais plásticas pela composição de agregados, ao invés de adicionar mais água para obter esta plasticidade (ACI 304.2R-96; WEIDMANN, 2008).

Não existem procedimentos normatizados para avaliar a bombeabilidade do concreto. Contudo, sabe-se que a forma, distribuição granulométrica e dimensão máxima do agregado graúdo exercem forte influência no comportamento do concreto bombeável.

2.4.1.2 Lançamento

Giammusso (1992) define que o lançamento consiste em aplicar o concreto no seu local definitivo, cuidando para que seus componentes não se separem (PRUDÊNCIO JR., 2007). Na dosagem do concreto, considera-se que este deverá ter condições de ser lançado e adensado dentro do elemento estrutural (HELENE e TERZIAN, 1993). Sendo assim, surgem várias condicionantes advindas de particularidades do projeto estrutural, tais como: dimensão da peça, cobrimento da armadura e espaçamento entre as barras de aço.

Por questões estéticas e de aproveitamento de espaço, os elementos estruturais são projetados com peças bastante esbeltas. A ABNT NBR 6118:2007, prescreve valores limites mínimos para as dimensões de elementos estruturais de concreto com o objetivo de evitar um desempenho inaceitável destes elementos, bem como propiciar condições adequadas de execução.

Esta norma determina que as vigas não devem apresentar largura inferior a 12 cm, sendo que nas vigas-parede o limite é de 15 cm, em caráter excepcional estes limites poderão ser reduzidos para um mínimo absoluto de 10 cm. Para os pilares, a menor dimensão indicada é de 19 cm, permitindo que em casos especiais sejam consideradas dimensões entre 19 cm e 12 cm.

Nas lajes maciças, a espessura mínima deve respeitar os seguintes limites:

- a) 5 cm para lajes maciças não em balanço;
- b) 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportam veículos de peso total ≤ 30 kN;
- d) 12 cm para lajes que suportam veículos de peso total > 30 kN;
- e) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas;
- f) $\ell/42$ para lajes de piso bi apoiadas, onde ℓ é o vão;
- g) $\ell/50$ para lajes de piso contínuas, onde ℓ é o vão;
- h) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes cogumelo.

Nas lajes nervuradas, quando não houver tubulação embutida, a espessura da mesa deve ser maior ou igual a $\frac{1}{15}$ da distância entre nervuras, não podendo ser menor que 3 cm. Quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm, o valor mínimo absoluto da espessura da mesa deverá ser 4 cm. As nervuras não devem apresentar espessura inferior a 5 cm.

Helene e Terzian (1993) orientam que a dimensão máxima característica do agregado graúdo seja menor ou igual a um terço da espessura da laje ou menor ou igual a um quarto da menor distância das faces das fôrmas, adotando o menor dos valores.

O capítulo 7 da ABNT NBR 6118:2007 apresenta critérios de projeto que visam à durabilidade das estruturas de concreto, onde é previsto um cobrimento mínimo da armadura. Para atender aos requisitos desta norma, o projeto e execução devem considerar um cobrimento nominal, que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (≥ 10 mm para as obras correntes).

Para estabelecer o cobrimento nominal deve-se considerar a classe de agressividade do meio ambiente (Tabela 14). No dimensionamento das armaduras e dos espaçadores, devem ser respeitados os valores apresentados na Tabela 15.

A dimensão máxima do agregado graúdo não pode ser maior que 1,2 vezes a espessura nominal do cobrimento.

Segundo Helene e Terzian (1993), deve-se fazer um levantamento prévio da situação a que o concreto será lançado, determinando-se as regiões críticas, que correspondem aos menores espaçamentos. Em obras comuns, a região crítica ocorre na armadura longitudinal de vigas, onde, de acordo com a ABNT NBR 6118:2003, na distribuição transversal o espaçamento mínimo das barras na direção horizontal deve ser igual ou superior a:

- 20 mm;
- Diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
- 1,2 vezes a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Desta maneira, com espaçamento de 20 mm, o diâmetro máximo do agregado deve ser menor ou igual a 0,8 deste. Ou seja, menor ou igual a 16 mm que corresponde a uma dimensão máxima do agregado graúdo de 12,5 mm. Quando o diâmetro máximo do agregado graúdo for 19 mm o espaçamento mínimo da armadura deverá ser de 22,8 mm. Na prática utiliza-se espaçamento de 25mm.

A consistência do concreto, que é medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, igualmente influencia na sua aplicação e, como visto no item 2.4.1.1, a composição granulométrica do agregado também têm mando sobre esta propriedade.

Tabela 14: Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2003).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um micro clima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento de indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 15: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para tolerância de execução de 10 mm (adaptado da norma ABNT NBR 6118:2003).

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 13)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto Armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outro tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas conforme observação abaixo, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Observação: O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser maior ou igual ao diâmetro da barra no caso de cabos de protensão maior ou igual ao diâmetro do feixe ou metade do diâmetro da bainha.

2.4.1.3 Produção de concreto em centrais dosadoras

Resumidamente pode-se prever que, entre outras características, na determinação do agregado graúdo com o qual será dosado o traço do concreto, a dimensão máxima adotada deverá atender ao menor dos seguintes valores:

- $\leq 1/3$ da espessura da laje;
- $\leq 1/4$ da menor dimensão do elemento estrutural;
- $\leq 1,2$ vezes o cobrimento nominal;
- $\leq 0,8$ do espaçamento das armaduras horizontais;
- $\leq 1/3$ da tubulação do equipamento de bombeamento.

A distribuição granulométrica deve fornecer o máximo volume ocupado pelo agregado, enquanto que a forma, além de influenciar em outras características do próprio agregado, tem forte influência nas propriedades do concreto fresco e endurecido, sendo que é preferível a utilização das formas mais equidimensionais.

Na operação usual de uma concreteira comercial, são inviáveis que sejam produzidas misturas distintas que atendam de maneira dinâmica às exigências acima. Deste modo, são calculadas famílias de traços para cada abatimento, compostas de diversas resistências, de acordo com tamanho do agregado gráudo, podendo ser bombeável ou não. Exemplo:

- ✓ Fck 25 MPa Brita 0 e 1 Abatimento 10 ± 2 cm;
- ✓ Fck 30 MPa Brita 0 e 1 Abatimento 10 ± 2 cm;
- ✓ Fck 35 MPa Brita 0 e 1 Abatimento 10 ± 2 cm.

Na Figura 27 é apresentada esquematicamente a planta de uma central dosadora de concreto, com dois pontos de carregamento.

É raro encontrar centrais de concreto que operem com mais de quatro tipos de agregados. O comum é a utilização de dois tipos de areias e duas granulometrias de agregados gráudos. Esta condição se dá por questões técnicas e operacionais, sendo a brita 0 e brita 1 (nomenclatura comercial) as mais utilizadas.

Conforme explanado até aqui, diversas são as razões para que, na dosagem de concreto em central, sejam utilizados como agregado gráudo as distribuições granulométricas que, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), correspondem as zonas granulométricas 4,75/12,5 ou 9,5/25 ou a combinação destas. Nos itens 2.1.3.1 Composição granulométrica e 2.1.3.2 Dimensão máxima característica pode-se perceber que, dentro de uma mesma zona granulométrica, é possível que o agregado tenha uma dimensão máxima característica maior ou menor. A zona granulométrica 4,75/12,5, comercialmente denominada brita 0, permite que este material tenha dimensão máxima característica de 9,5 mm ou 12,5 mm. Já a zona granulométrica 9,5/25, chamada comercialmente de brita 1, pode ter dimensão máxima característica de 19 mm ou 25 mm. O tamanho máximo do agregado depende do

processo da classificação por peneiramento utilizado na produção das pedreiras.

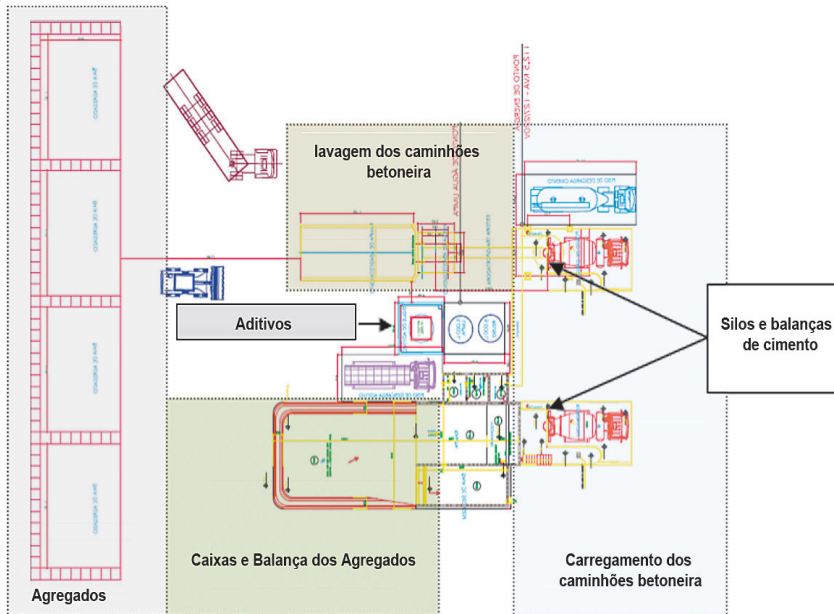


Figura 27: Layout de uma central de dosagem de concreto (REGATTIERI e MARANHÃO, 2011).

Em centrais de pequeno porte o modelo de planta tipo “*TOW-GO*” é bastante utilizado. Neste sistema não existe silo de agregado e a dosagem é feita com a pá carregadeira diretamente na balança de agregados. Desta maneira, quanto menos agregados diferentes forem utilizados, mais facilitada será a operação, pois os ciclos de pesagem executados pela pá carregadeira são reduzidos de acordo com os tipos diferentes de agregados usados.

3 Método de trabalho

Neste capítulo são apresentados os métodos e programa experimental empregados na pesquisa.

3.1 *Considerações preliminares*

Para avaliar a influência da origem geológica do material, foram utilizados agregados com duas litologias distintas, apresentados no Anexo. Cada tipo de rocha foi submetido a dois processos de cominuição: no primeiro, o material passou somente pelo britador tipo cone e, no segundo processo, após passar pelo cone, 100% do agregado foi reduzido através do VSI. Com isso, pode-se avaliar a influência do equipamento de britagem no produto, através da caracterização do material resultante de cada situação. A Figura 28 mostra imagens de partículas que passaram pelo processo aqui descrito, onde é possível observar significativa diferença de forma entre as partículas.

Também se verificou o desempenho de cada tipo de rocha, de acordo com processo utilizado na britagem, para diferentes granulometrias com variação da dimensão máxima característica do agregado, estudando-se o comportamento do concreto fresco e endurecido sujeito a esta variação no agregado graúdo.



Figura 28: Material basáltico que passou pelo VSI (esquerda) após ter passado pelo cone (direita).

O desenvolvimento dos trabalhos obedece aos procedimentos descritos no programa experimental.

3.2 Programa experimental

Neste item são apresentados os procedimentos adotados no desenvolvimento dos trabalhos.

3.2.1 Coleta e preparação do material

Os agregados foram coletados em duas unidades industriais de britagem, uma localizada em São José – SC (granito) e outra em Maracajá – SC (basalto). Em ambos os casos, retirou-se o material imediatamente após cada britador (cone e VSI). Conforme se verifica na Figura 28, nesta situação o agregado ainda não havia sido submetido ao processo de classificação, contendo grãos de diversas dimensões, sendo necessário realizar sua separação por faixas granulométricas em laboratório, utilizando um conjunto de peneiras sucessivas, de dimensão em mm: 4,75; 12,5; 19; 25 e 31,5.

Na prática, ocorre que o material abaixo de 4,75 mm é separado como pó de pedra, enquanto que o material acima de 19 mm; 25 mm ou equivalente, que depende da definição operacional da britagem quanto à abertura de tela usada na classificação do agregado, pode tanto ser separado como material de granulometria mais elevada como também pode ser rebitado. O produto intermediário é separado em duas faixas, tendo no meio uma peneira de corte equivalente à abertura de malha de 12,5 mm, formando a zona granulométrica 4,75/12,5; na tela superior a abertura pode ser de 19,0 mm até 25 mm, que dependerá das características do material e das necessidades dos consumidores deste agregado.

Neste trabalho, o material abaixo de 4,75 mm e acima de 31,5 mm foi descartado. O restante foi peneirado em laboratório em quatro faixas:

- ✓ 4,75 mm até 12,5 mm;
- ✓ 12,5 mm até 19,0 mm;
- ✓ 19,0 mm até 25,0 mm e
- ✓ 25,0 mm até 31,5 mm.



Figura 29: Granito retirado na correia imediatamente após o VSI.

Diversas condições interferem na distribuição granulométrica do produto. Quando se realiza o peneiramento em laboratório, as interferências são minimizadas, sendo este muito mais eficiente. Neste trabalho foi ajustado um procedimento para a separação onde cada material coletado nas pedreiras, após ser seco ao ar, passou por um conjunto de peneiras em quantidades equivalentes a um balde de dez litros por dez minutos (Figura 30).



Figura 30: Material seco ao ar (esquerda) e conjunto de peneiras (direita).

Este peneiramento foi feito no laboratório de uma central de concreto situada na SC 401 - Florianópolis, acondicionado novamente em tambores e transportado para a UFSC. A Figura 30 mostra os tambores e o material após a classificação.



Figura 31: Tambores contendo diversas frações granulométricas (esquerda) e materiais após peneiramento (direita)

Por não se ter a tela de abertura de 31,5 mm no conjunto de peneiras mecânicas, foi utilizada uma peneira de 37,5 mm neste processo e posteriormente se executou um peneiramento manual com a peneira de 31,5 mm nas frações maiores. Isto somente foi viável pela pequena quantidade de material necessária à realização dos ensaios (Figura 32).



Figura 32: Peneiramento manual com abertura de malha de 31,5 mm.

A distribuição granulométrica resultante de cada material é apresentada no Anexo 3.

O cimento e o aditivo usados nos ensaios em concreto foram coletados em janeiro de 2013 na citada central dosadora localizada na rodovia SC 401 em Florianópolis, que se prontificou a disponibilizar materiais para os estudos.

O cimento foi armazenado em tambores metálicos revestidos com lona plástica e acrescentado recipiente com sílica gel granulada para

evitar a hidratação até o momento da utilização (Figura 33). A massa específica fornecida pelo fabricante é de $2,80 \text{ kg/dm}^3$ e os demais ensaios encontram-se no Anexo 2.



Figura 33: Cimento armazenado em tambor metálico revestido com lona plástica e sílica gel granulada.

No concreto dosado em central, praticamente em sua totalidade, é utilizado aditivo plastificante, que hoje, por muitos, é considerado como o quarto material constituinte do concreto. O aditivo plastificante polifuncional usado nos ensaios foi o mesmo utilizado nos traços desta concreteira, sendo do fabricante de aditivos RHEOSET tipo TEC MULT 890 LF coletado em janeiro de 2013, conforme Figura 34.



Figura 34: Aditivo polifuncional.

Por questões de espaço no laboratório, as areias foram coletadas apenas em maio de 2013. Suas características necessárias aos estudos são apresentadas no Anexo 4.

Todos os agregados foram secos em estufa antes da sua utilização. A água usada foi a fornecida pela rede de distribuição pública, sendo os ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.2.2 Composição das granulometrias

A NBR 7211 (ABNT, 2009) prevê que, para a zona granulométrica 9,5/25, a porcentagem, em massa, retida acumulada nas peneiras com abertura de malha de 19 mm pode variar de 2% a 15% (podendo chegar a 20%) e, para a tela de 25 mm, a variação pode ser de 0% a 5%. Para avaliar o efeito do tamanho do agregado devido a esta variação, ao material passante na peneira 19 mm e retido na 12,5 mm, foi acrescido os grãos retidos na peneira 19 mm e passantes na peneira 25 mm e/ou passantes na peneira 31,5 mm e retidos na peneira 25 mm, de modo que as composições granulométricas apresentam porcentagem retida nas malhas 19 mm e 25 mm conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16: Variação do tamanho do agregado para a composição granulométrica.

Abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada.				
	19 mm	25 mm	31,5 mm	37,5 mm	47,5 mm
19 mm	0	5	10	15	15
25 mm	0	0	0	0	5

Com cada uma das curvas granulométricas obtidas do modo descrito acima, foram feitas composições com o material de 4,75 mm até 12,5 mm. Para a determinação da composição ótima entre as zonas granulométricas constituíram-se as seguintes misturas:

Tabela 17: Percentuais de mistura de britas para determinação da composição ótima entre zonas granulométricas.

12,5/25 (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20
4,75/12,5 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80

Entendendo que a massa unitária compactada mais elevada representa um melhor empacotamento dos grãos, cada mistura foi homogeneizada inicialmente em betoneira e em seguida se realizou a determinação da massa unitária compactada (Figura 35), conforme ABNT NBR NM 45:2006, até que dois pontos consecutivos apresentassem diminuição de peso, sendo considerada a composição ótima aquela que apresentou a maior massa, para cada uma das curvas granulométricas obtidas anteriormente.

No dimensionamento dos traços de uma central dosadora este é um procedimento corriqueiro, sendo também a forma adotada neste trabalho para a determinação da composição granulométrica dos agregados para os estudos, ficando como distribuição da composição granulométrica “ótima” as obtidas através deste procedimento.



Figura 35: Agregado sendo compactado após homogeneização (esquerda). Procedimento de rasura para determinação da massa unitária compactada (direita).

Cabe salientar que o melhor empacotamento dos grãos não corresponde à melhor distribuição granulométrica para o concreto, pois como visto anteriormente é necessário que exista um espaço entre os grãos para a argamassa. Porém, se considerou a composição granulométrica ideal a obtida pela da massa unitária compactada, apresentada no item 4.1.1, somente para efeitos de estudo.

Na classificação industrial dos agregados pode ocorrer que o material tenha sido reduzido somente em britador cone, como também pode-se ter um produto final que tenha passado 100% pelo VSI, ou qualquer combinação percentual entre os processos. Para entender o efeito da mistura, foram feitas composições intencionais dos agregados

reduzidos por equipamentos distintos (Figura 36), para cada litologia, com cada composição granulométrica obtida anteriormente.



Figura 36: Dosagem das composições granulométricas.

A Tabela 18 apresenta os valores de combinações percentuais adotadas.

Tabela 18: Composição percentual Cone/VSI para cada litologia.

Equipamento	Composição percentual (%)				
Cone/VSI	100/0	75/25	50/50	25/75	0/100

Desta forma, obteve-se 25 amostras de granulometrias distintas, relacionadas à participação percentual do tipo do equipamento de cominuição, para cada litologia, totalizando 50 composições granulométricas estudadas. Na Tabela 19 e Tabela 20, respectivamente, é apresentado um quadro resumo das composições graníticas e do basálticas, bem como a nomenclatura das misturas.

Tabela 19: Quadro resumo das composições granulométricas para o granito.

Composição granulométrica ótima (% retido # 19 mm / 25 mm)	Composição percentual devido ao equipamento de britagem (% cone/VSI)				
0/0	G1 (100/0)	G2 (75/25)	G3 (50/50)	G4 (25/75)	G5 (0/100)
5/0	G6 (100/0)	G7 (75/25)	G8 (50/50)	G9 (25/75)	G10 (0/100)
10/0	G11 (100/0)	G12 (75/25)	G13 (50/50)	G14 (25/75)	G15 (0/100)
15/0	G16 (100/0)	G17 (75/25)	G18 (50/50)	G19 (25/75)	G20 (0/100)
15/5	G21 (100/0)	G22 (75/25)	G23 (50/50)	G24 (25/75)	G25 (0/100)

Tabela 20: Quadro resumo das composições granulométricas para o basalto.

Composição granulométrica ótima (% retido # 19 mm / 25 mm)	Composição percentual devido ao equipamento de britagem (% cone/VSI)				
0/0	B1 (100/0)	B2 (75/25)	B3 (50/50)	B4 (25/75)	B5 (0/100)
5/0	B6 (100/0)	B7 (75/25)	B8 (50/50)	B9 (25/75)	B10 (0/100)
10/0	B11 (100/0)	B12 (75/25)	B13 (50/50)	B14 (25/75)	B15 (0/100)
15/0	B16 (100/0)	B17 (75/25)	B18 (50/50)	B19 (25/75)	B20 (0/100)
15/5	B21 (100/0)	B22 (75/25)	B23 (50/50)	B24 (25/75)	B25 (0/100)

3.2.3 Estudo das características dos agregados

As características dos agregados, avaliadas, foram:

- a) Composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura, individual de cada mistura, fornecendo a curva de cada composição. Utilizou-se a ABNT NBR NM 248:2003 para a determinação das faixas granulométricas dos materiais preparados conforme descrito no item 3.2.1 Coleta e preparação do material, sendo a distribuição granulométrica de cada composição calculada pela média ponderada de cada faixa.
- b) Massa unitária compactada: O estudo desta propriedade forneceu parâmetros relativos ao arranjo das partículas, refletindo o melhor empacotamento. O método de ensaio utilizado foi o descrito na ABNT NBR NM 45:2006.
- c) Índice de forma, que forneceu o coeficiente de forma resultante, percentual de partículas cúbicas, percentual de partículas achatadas, percentual de partículas alongadas e o percentual de partículas achatadas e alongadas, de cada combinação de agregados, nesta caracterização utilizou-se os métodos descritos na ABNT NBR 7809:2006, ABNT NBR 5564:2011, *BS 812: Section 105.1:1989* e *BS 812: Section 105:1990*.

A Figura 37 mostra o equipamento utilizado nos métodos das normas ABNT NBR 7809:200 e ABNT NBR 5564:2011.



Figura 37: Utilização de paquímetro para determinação da forma das partículas com diferentes processos de cominuição.

A norma ABNT NBR 7809:2006 recomenda que as frações abaixo de 9,5 mm e peneiras com porcentagem retida menor que 5% sejam desconsideradas. Analisando a Figura 38, visualmente pode-se perceber que a diferença de forma das partículas que passaram somente pelo cone e as que passaram posteriormente pelo VSI é significativa. Como neste trabalho procurou-se avaliar a influência do tipo de britador na forma do agregado, se optou por determinar a forma das partículas para todas as faixas granulométricas, considerando como resultado da forma da fração 4,75/12,5 a média ponderada entre as porcentagens retidas acumuladas das peneiras 4,75 mm, 6,3 mm e 9,5 mm.



Figura 38: Granito da fração 4,75/12,5: à esquerda material do cone e à direita material do VSI

O equipamento utilizado para os procedimentos descritos nas normas *BS 812: Section 105.1:1989* e *BS 812: Section 105:1990* é apresentado na Figura 39. O calibre de partículas alongadas comercializado no Brasil obedece às dimensões originais destas normas britânicas, onde as aberturas das malhas das peneiras usadas para a separação em faixas granulométricas dos agregados obedecem a um padrão próprio diferente das normatizadas. Para que este calibre fosse utilizado seria necessário um jogo de peneiras especial somente para este ensaio. Esta condição se mostrou inviável, tanto para os estudos deste trabalho, como também para o uso prático do procedimento. Sendo assim foi fabricado um calibre onde se adaptou os espaçamentos entre os pinos às peneiras normatizadas. Na Tabela 21 são apresentados os valores utilizados que obedeceram ao princípio de 1,8 vezes a média entre as peneiras conforme descrito no item 2.1.3.4.. Outro detalhe importante é que a menor peneira usada nesta norma é a 6,3 mm. Então foi inserido para o calibre e fabricado para a placa de lamelaridade (abertura de 3,13 mm) a faixa 4,75/6,3.



Figura 39: Calibre de partículas alongadas e placa de lamelaridade (acima), ensaio da placa de lamelaridade (abaixo à esquerda) e ensaio de partículas alongadas (abaixo à direita).

Tabela 21 : Distância entre pinos do Calibre de partículas alongadas.

Faixa (mm)	4,75/6,3	6,3/9,5	9,5/12,5	12,5/19	19/25	25/31,5
Distância (mm)	9,95	14,22	19,80	28,35	39,60	50,85

3.2.4 Estudos em concreto

Para entender os efeitos da forma e tamanho dos grãos de um determinado agregado, no desempenho do concreto, realizaram-se ensaios no concreto no estado fresco e endurecido.

Para a avaliação da influência das características do agregado graúdo, foi feito um levantamento junto às concreteiras de Florianópolis – SC, onde se verificou que o traço com maior demanda é o fck 30 MPa

com Britas 0 e 1 (zonas granulométricas 4,75/12,5 e 9,5/25 respectivamente), abatimento 10 ± 2 cm, bombeável, ficando determinado este como o traço a ser utilizado nos estudos em concreto.

Inicialmente optou-se por utilizar uma dosagem de uso consagrado, fornecido pelo prestador de serviço de concretagem, conforme segue:

✓ Cimento CP IV 32 – Granel	271 kg
✓ Areia de Britagem	454 kg
✓ Areia fina	371 kg
✓ Brita 0	314 kg
✓ Brita 1	724 kg
✓ Aditivo plastificante polifuncional	2,311 kg
✓ Água	173 L

Correspondendo a um traço, em massa:

$$1 : 3,04 : 3,84 : 0,64$$

Os parâmetros de relação água/cimento ($a/c = 0,64$), teor de argamassa ($\alpha = 0,51$) e relação água/materiais secos ($H = 8,12\%$), deveriam ser mantidos constantes, somente sendo alterado o agregado graúdo onde seria substituído pelo somatório de Brita 0 e Brita 1, para cada uma das composições granulométricas já preparadas.

A concreteira que emprega este traço utiliza agregado da mesma jazida granítica, onde foram coletados os materiais utilizados neste trabalho. Desta forma, a substituição seria direta. No basalto deveria ser feita uma correção em peso ($p_{\text{basalto}} = p_{\text{granito}} \times (d_{\text{basalto}}/d_{\text{granito}})$), para preservar o volume de pedra.

Considerando que em campo o concreto fornecido para as obras como regra é utilizado no limite superior de seu abatimento, ficou convencionalizado que nos traços de concreto fosse adicionado água até ser atingido o abatimento de 12 cm, considerando-se como aceitável uma variação de ± 1 cm.

Preliminarmente foram preparados traços pilotos com agregados contendo diferentes coeficientes de forma para avaliação do

comportamento. Verificou-se que o teor de argamassa, em massa, de 51% apresentava segregação muito acentuada em alguns casos (Figura 40), estando no limite em outros. Desta forma, ficaria prejudicada a comparação entre as diferentes composições granulométricas. Então, foram dosados traços para ajuste do teor de argamassa onde se considerou suficiente para o granito a utilização de um teor de argamassa de 53% e para a substituição volumétrica por basalto se tornou necessária a utilização de um traço equivalente ao do granito com teor de argamassa de 54% em massa.



Figura 40: Concreto segregando em estudo piloto.



Figura 41: Concreto com teor de argamassa ideal em estudo piloto.

As dosagens utilizadas para cada origem mineralógica são apresentadas abaixo.

Traços Graníticos

✓ Cimento CP IV 32 – Granel	280 kg
✓ Areia de Britagem	488 kg
✓ Areia fina	400 kg
✓ Brita	1.036 kg
✓ Aditivo plastificante polifuncional	2,378 kg
✓ Água	179 L

Correspondendo a um traço, em massa:

$$1 : 3,17 : 3,70 : 0,64$$

$$\text{Parâmetros:} \quad a/c = 0,64 \quad \alpha = 0,53 \quad H = 8,13\%$$

Traços Basálticos

✓ Cimento CP IV 32 – Granel	280 kg
✓ Areia de Britagem	500 kg
✓ Areia fina	409 kg
✓ Brita	1.131 kg
✓ Aditivo plastificante polifuncional	2,378 kg
✓ Água	179 L

Correspondendo a um traço, em massa:

$$1 : 3,25 : 4,04 : 0,64$$

$$\text{Parâmetros:} \quad a/c = 0,64 \quad \alpha = 0,51 \quad H = 7,72\%$$

Foram preparados os traços em laboratório, variando-se o agregado graúdo, sendo avaliados os efeitos sobre os seguintes aspectos relativos à mistura:

- Abatimento (ABNT NBR NM 67:1998), onde se verificou a consistência medida pelo abatimento do tronco de cone. Neste instante também se conferiu visualmente a coesão ou segregação.
- Quantidade de água exigida para cada mistura, onde se obteve a relação água/cimento real para cada composição granulométrica.
- Teor de ar incorporado, pelo método gravimétrico (ABNT NBR 9833:2008).
- Em relação à bombeabilidade, não existe ensaio normatizado para a sua avaliação. Empiricamente, para o dimensionamento dos traços, os laboratórios das empresas de concretagem utilizam um procedimento onde, com o auxílio do tronco de cone utilizado no ensaio de abatimento de tronco de cone de modo invertido, é verificada a bombeabilidade da mistura, para posterior correção em campo. Porém, este procedimento está sujeito a muitas variações devido à influência do operador. Com o objetivo de diminuir a interferência externa durante o ensaio, optou-se por uma adaptação do método do cone invertido proposto por Weidmann (2008). A bombeabilidade do concreto era avaliada utilizando um cone de Abrams invertido posicionado sobre um suporte padrão dotado de uma portinhola de abertura com acionamento rápido na base do cone (Figura 42). O cone deveria ser preenchido em três camadas iguais adensadas com vinte e cinco golpes cada, procedendo-se a rasura no topo e nivelamento do concreto. Em seguida deve-se abrir a portinhola avaliando o escoamento e anotando o tempo utilizando um cronômetro.



Figura 42: Cone invertido proposto por Weidmann (2008) para avaliação de bombeabilidade.

Em estudo piloto se verificou que o adensamento das camadas provocava uma compactação acentuada do concreto inviabilizando o ensaio neste trabalho, então foram adotados os mesmos procedimentos como descrito acima, apenas substituindo o preenchimento do cone em três camadas com vinte e cinco golpes por uma camada sem adensamento.

- Quanto ao lançamento, não existe ensaio normatizado sobre a aplicabilidade do concreto de uso corrente. Para o concreto autoadensável a determinação da habilidade passante é avaliada pelo método da caixa L (ABNT NBR 15823-4:2010), apresentada na Figura 43. O ensaio simula condições de campo onde o concreto é obrigado a fluir entre barras de aço com espaçamento restrito, verificando-se a fluidez, tendência de segregação e bloqueamento.

Neste ensaio, após encher o compartimento vertical, deixa-se o concreto parado por um minuto antes de abrir a comporta que separa os compartimentos. Neste instante inicia-se a contagem do tempo, marcando quanto leva para fluir até as marcas de 200 mm e 400 mm, T20 e T40. Mede-se também as alturas H1 e H2. Considera-se o concreto auto-adensável se: $T20 < 1,5 \text{ s}$, $T40 < 3,5 \text{ s}$ e $0,80 \text{ mm} < H2/H1 < 0,85 \text{ mm}$.

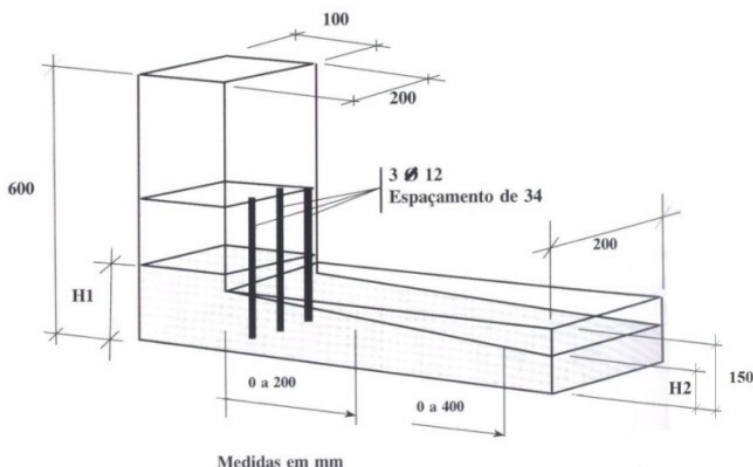


Figura 43: Ensaio de fluxo de caixa L (GUIMARÃES, 2007)

Inspirado neste ensaio criou-se a simulação de lançamento de concreto em uma viga, com um equipamento descrito na figura Figura 44. As medidas da caixa obedecem aos limites mínimos da norma com largura de 13,6 cm, cobrimento de 2,5 cm, três barras com o mesmo diâmetro de 12 mm utilizados na caixa L e com espaçamento de 25 mm, sendo arbitrada uma altura de 25 cm e comprimento de 40 cm.

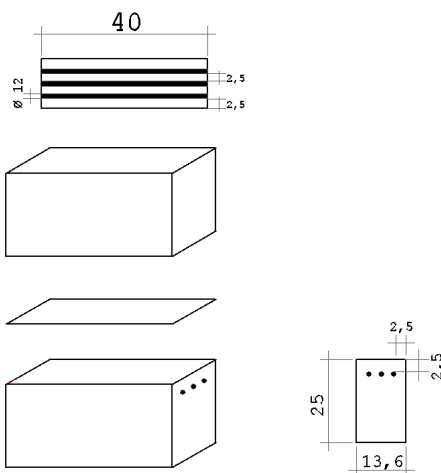


Figura 44: Esquema de caixa de simulação e lançamento de concreto em vigas, medidas em cm.

A Figura 45 mostra a caixa depois de fabricada.



Figura 45: Caixa desmontada (esquerda) e pronta para o uso (direita).

Em testes preliminares de campo determinou-se o seguinte procedimento de ensaio:

1. Sobre uma mesa vibratória, enche-se a comporta superior com um volume padrão de concreto (Figura 46), utilizou-se o mesmo recipiente usado para a determinação da massa unitária compactada (10,01 Litros).



Figura 46: Caixa sobre mesa vibratória e recipiente padrão cheio, antes do ensaio.

2. Executa-se o nivelamento do concreto, abre-se a comporta e inicia-se a vibração (Figura 47).



Figura 47: Sequência de: preenchimento da caixa (acima à esquerda), nivelamento do concreto (acima à direita), abertura da comporta e início da vibração (abaixo).

3. No momento que se inicia a vibração deve ser acionado o cronômetro anotando o tempo para que todo o material passe pelas barras, verificando se aparecem sinais de segregação e avaliando a habilidade passante do concreto, conforme mostrado na Figura 48.



Figura 48: Anotação do tempo de descida e avaliação visual do comportamento do concreto durante ensaio da sobre mesa vibratória (esquerda) e caixa após todo concreto ter passado pelas barras.

4. Se após noventa segundos algum material não tiver passado, deve ser cessada a vibração e pesado o material que representa a segregação devido à limitação de passagem.



Figura 49: Material retido na caixa depois de 90 segundos de vibração (esquerda) e partículas retidas depois de lavadas.

5. Como avaliação complementar procede-se a uma inspeção visual do concreto ao final do processo, durante a limpeza do aparato.

Nas Figura 50 são apresentados concretos contendo grãos com diferentes formas, após terem passado pelo procedimento acima.



Figura 50: Concreto com grãos alongados e lamelares (esquerda) e concreto com partículas cúbicas (direita), avaliados durante limpeza do aparato.

- Resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2007): foi verificada a resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e curados segundo a ABNT NBR 5738:2003, utilizando-se a resistência potencial de cada exemplar. Os corpos de prova foram curados em câmara úmida e retificados antes de serem rompidos, conforme mostrado na Figura 51.



Figura 51: Câmara úmida (acima à esquerda), retífica (acima à direita) e rompimento de corpo de prova (abaixo).

4 Apresentação e análise dos resultados

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no programa experimental.

4.1 Composição das granulometrias

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios e os teores de mistura das faixas granulométricas usados para definição das composições granulométricas ótimas.

4.1.1 Massa unitária compactada dos agregados

Os gráficos abaixo mostram os resultados dos ensaios de massa unitária compactada das misturas percentuais de britas das faixas 12,5/25 mm e 4,75/12,5 mm.

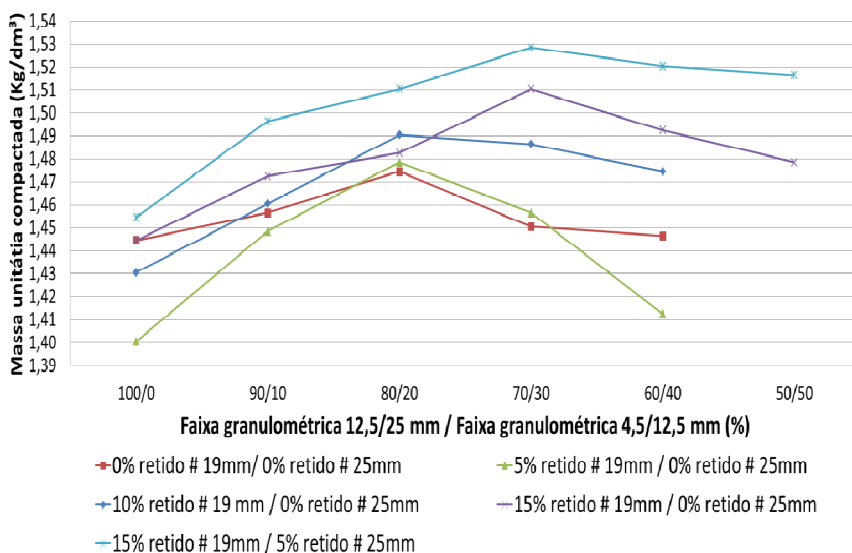


Figura 52: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do granito cone.

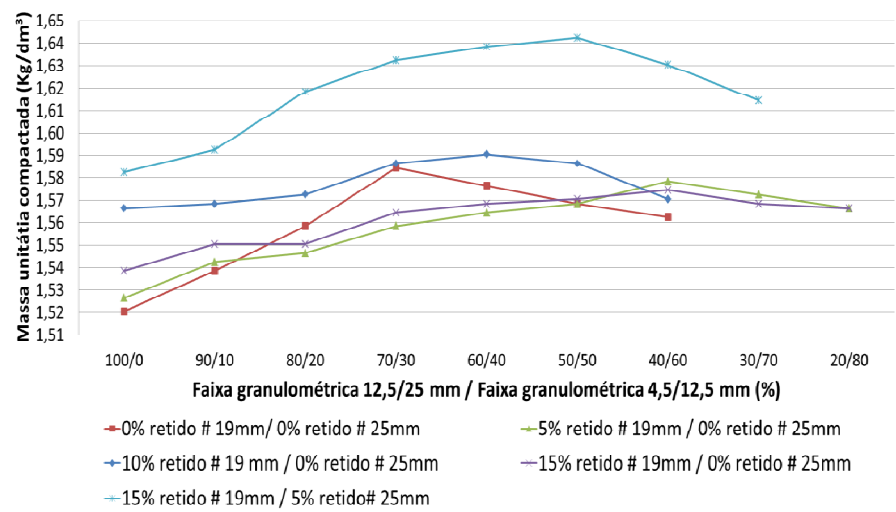


Figura 53: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do granito VSI.

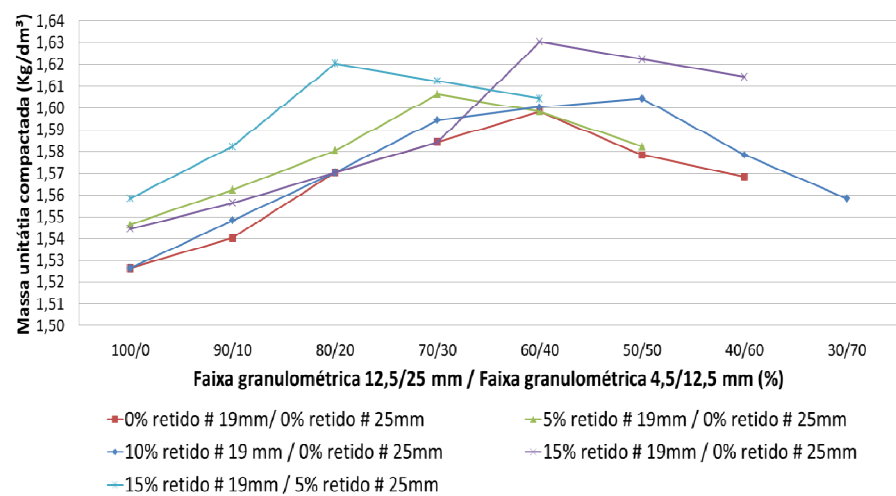


Figura 54: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do basalto cone.

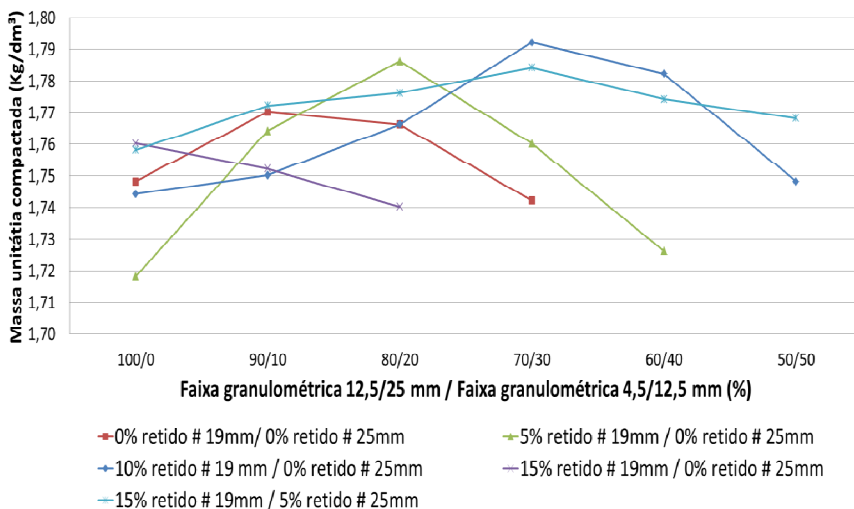


Figura 55: Curvas de determinação da composição ótima entre zonas granulométricas do basalto VSI.

A maior massa unitária de cada curva corresponde ao melhor empacotamento dos grãos e conseqüentemente ao menor volume de vazios para cada situação estudada. É possível perceber a influência do britador utilizado no processo pois, analisando os materiais com a mesma origem geológica, percebe-se significativa diferença nos valores de massa unitária, ou seja, os grãos que passaram pelo VSI conseguem melhor empacotamento.

Para a determinação da zona granulométrica ótima foi utilizada a composição entre as faixa 12,5/25 mm e a faixa 4,75/12,5 mm que correspondeu à máxima massa unitária obtida em cada curva.

4.1.2 Composição granulométrica ótima

Na Tabela 22 são apresentados os valores máximos obtidos nos ensaios de massa unitária compactada para cada composição granulométrica.

Tabela 22: Valores máximos de massa unitária compactada para cada composição granulométrica.

Composição granulométrica (% retido # 19mm / # 25mm)	Massa unitária compactada (Kg/dm ³)			
	Granito cone	Granito VSI	Basalto cone	Basalto VSI
0/0	1,47	1,58	1,60	1,77
5/0	1,48	1,58	1,61	1,79
10/0	1,49	1,59	1,60	1,79
15/0	1,51	1,57	1,63	1,76
15/5	1,53	1,64	1,62	1,78

Apesar de haver um aumento da massa unitária à medida que é adicionado material com maior dimensão, este aumento não é tão significativo quanto à diferença devido ao britador.

A Tabela 23 apresenta os teores percentuais de mistura de britas 4,75/12,5 mm e 12,5/25 mm utilizadas para a composição das granulometrias estudadas conforme descrito no item 3.2.2.

Tabela 23: Composição granulométrica ótima.

Composição granulométrica ótima (% retido # 19mm / # 25mm)	Porcentagem de faixa granulométrica 12,5mm/25mm / faixa granulométrica 4,5/12,5mm (%)			
	Granito cone	Granito VSI	Basalto cone	Basalto VSI
0/0	80/20	70/30	60/40	90/10
5/0	80/20	40/60	70/30	80/20
10/0	80/20	60/40	50/50	70/30
15/0	70/30	40/60	60/40	100/0
15/5	70/30	50/50	80/20	70/30

4.2 Características dos agregados

Os resultados da caracterização dos agregados, bem como a análise destes dados são apresentados a seguir. As tabelas contendo os dados obtidos dos ensaios são apresentadas no Anexo 3.

4.2.1 Distribuição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura

Neste item são apresentados e analisados os dados correspondentes a distribuição granulométrica, dimensão máxima características e módulo de finura.

4.2.1.1 Distribuição granulométrica

Os gráficos a seguir apresentam as curvas de distribuição granulométrica das composições obtidas conforme descrito no item 3.2.2 Composição das granulometrias.

Composições graníticas:

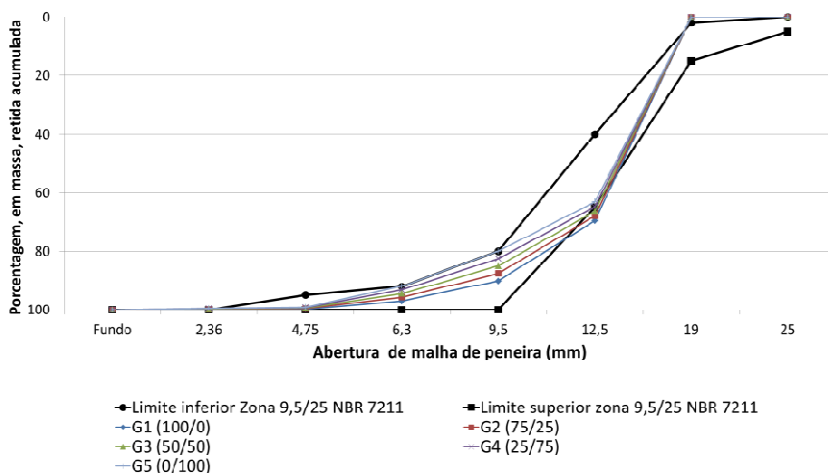


Figura 56: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 0% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

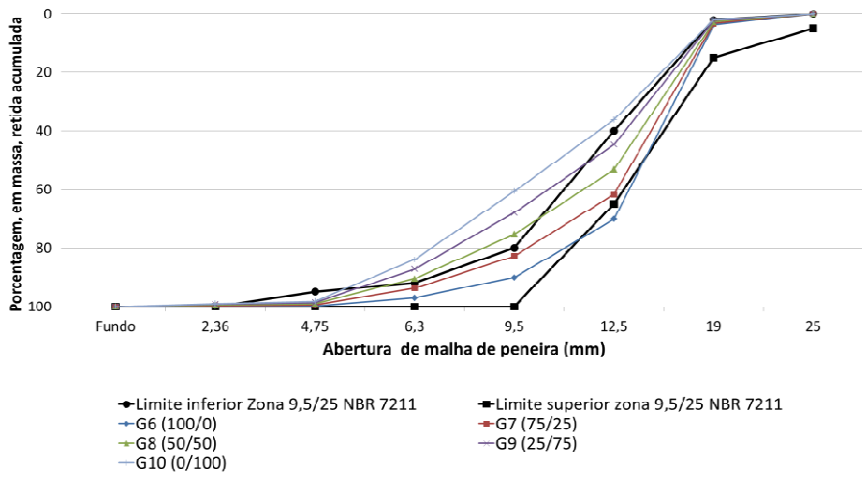


Figura 57: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 5% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

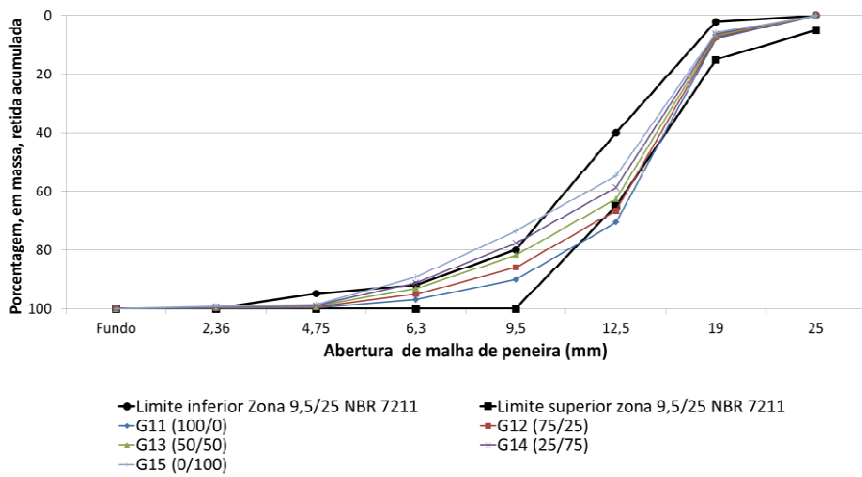


Figura 58: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 10% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

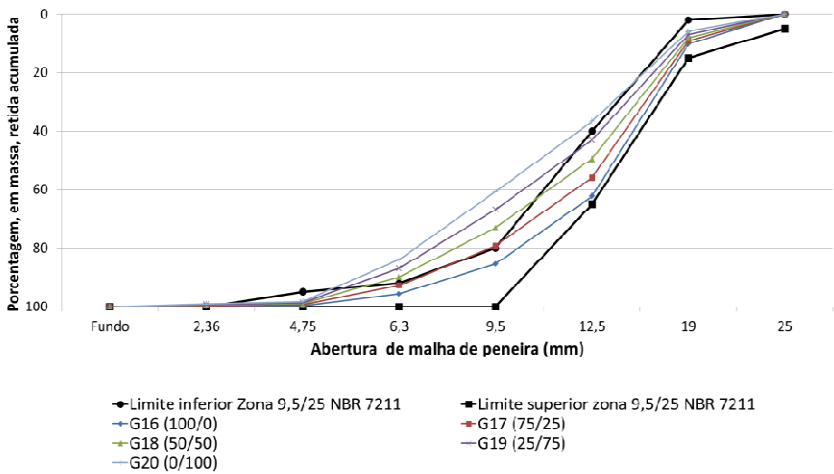


Figura 59: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 15% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

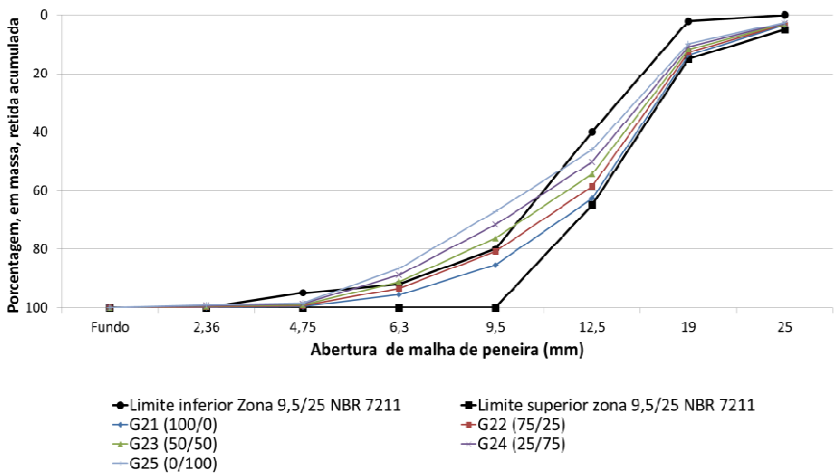


Figura 60: Curvas de distribuição granulométrica do granito cone/VSI para 15% retido # 19mm e 5% retido # 25mm.

Composições basálticas:

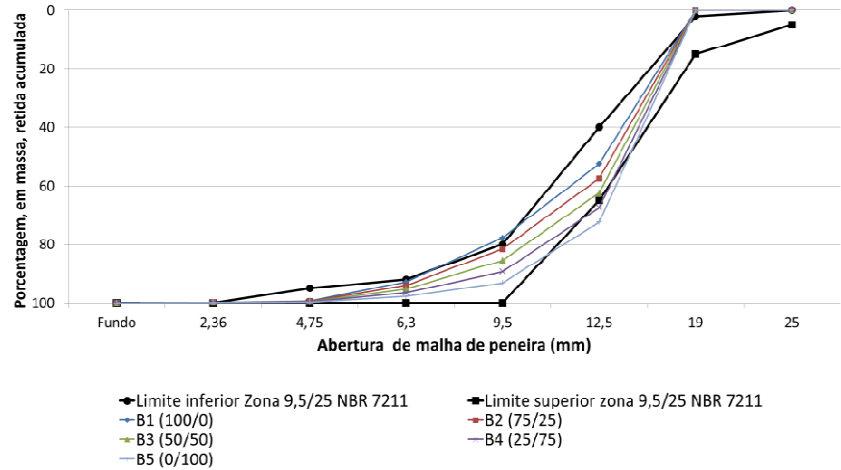


Figura 61: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 0% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

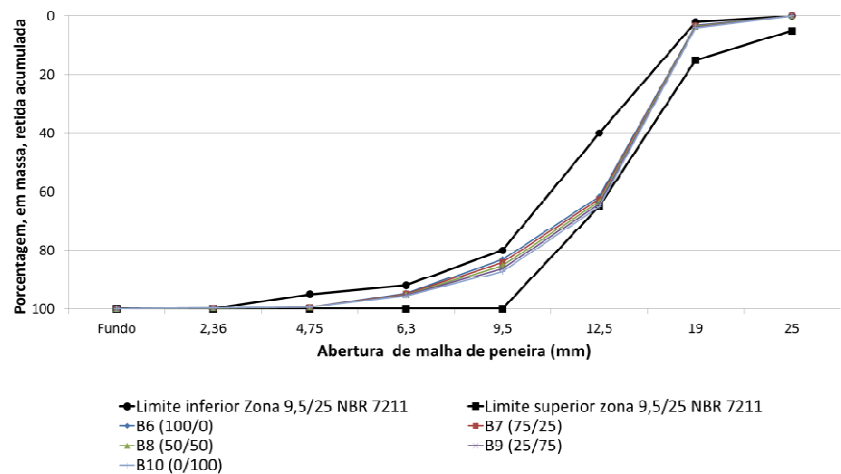


Figura 62: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 5% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

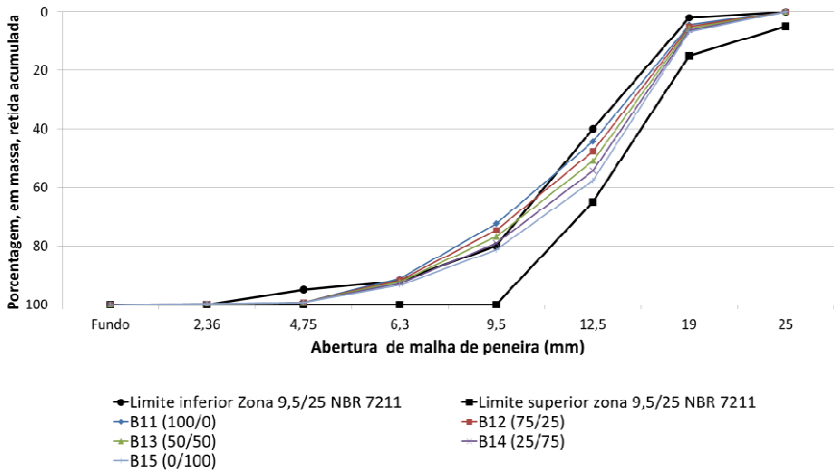


Figura 63: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 10% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

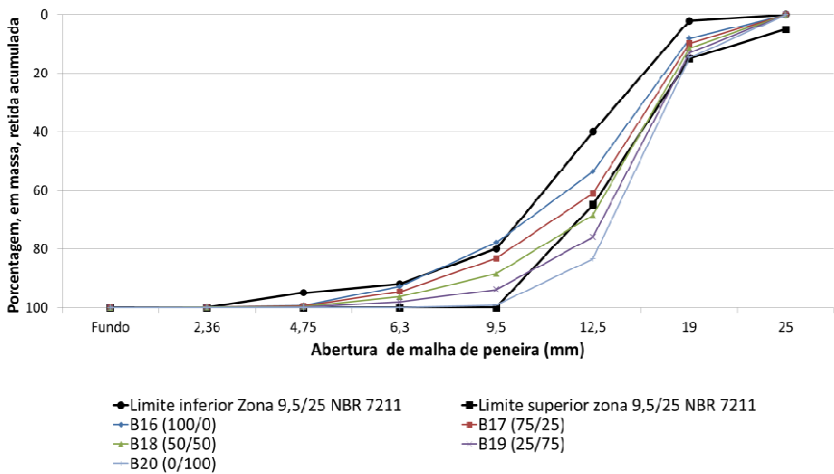


Figura 64: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 15% retido # 19mm e 0% retido # 25mm.

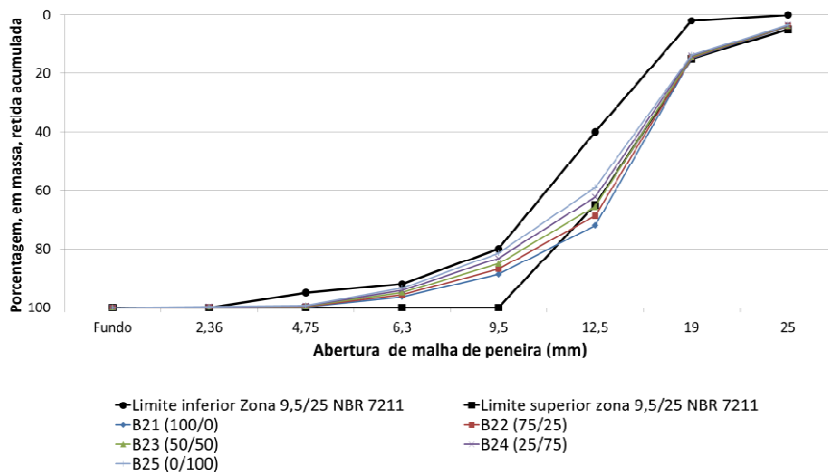


Figura 65: Curvas de distribuição granulométrica do basalto cone/VSI para 15% retido # 19mm e 5% retido # 25mm.

Tanto para o granito quanto para o basalto as curvas de distribuição granulométrica se apresentaram dentro ou muito próximo dos limites indicados para o agregado graúdo pela ABNT NBR 7211:2009. Entende-se que estes limites correspondem à distribuição ideal do agregado. Desta forma, fica evidente a eficiência do método da massa unitária compactada utilizada para composição das granulometrias.

A avaliação e acompanhamento da distribuição granulométrica são os procedimentos mais usados, quando não os únicos, para verificação da qualidade do agregado graúdo. As composições granulométricas estudadas neste trabalho apresentam propositalmente diferenças significativas entre si que neste ensaio não são facilmente detectadas. Então, outros ensaios se fazem necessários na caracterização e acompanhamento do agregado graúdo.

4.2.1.2 Dimensão máxima característica

A tabela abaixo apresenta a dimensão máxima característica das composições granulométricas estudadas.

Composição granulométrica (% retido # 19mm / # 25mm)	Cone / VSI (%)	Dmáx (mm)	
		Granito	Basalto
0/0	100/0	19	19
	75/25	19	19
	50/50	19	19
	25/75	19	19
	0/100	19	19
5/0	100/0	19	19
	75/25	19	19
	50/50	19	19
	25/75	19	19
	0/100	19	19
10/0	100/0	25	19
	75/25	25	19
	50/50	25	25
	25/75	25	25
	0/100	25	25
15/0	100/0	25	25
	75/25	25	25
	50/50	25	25
	25/75	25	25
	0/100	25	25

Continua

Continuação

15/5	100/0	25	25
	75/25	25	25
	50/50	25	25
	25/75	25	25
	0/100	25	25

Todas as composições se enquadram na zona granulométrica 9,5/25 mm da ABNT NBR 7211:2009. A versão anterior a 2005 desta norma denominava este material com brita 1 e determinava que, pelo menos, 90% deveria passar pela peneira de 19 mm. Sendo assim, a versão atual ficou bem mais tolerante do que ela uma vez que passou a permitir em certos casos, até 20% de material retido na peneira 19mm e até 5% na peneira 25mm.

O mercado em geral ainda não absorveu a nova condição continuando a utilizar a nomenclatura anterior. Por um lado, alguns produtores de agregado mantiveram seu produto com a característica de não ter nada acima de 19 mm e por outro os consumidores usam produtos com o tamanho máximo dos grãos maior, acreditando se tratar do mesmo material. É importante que os materiais utilizados na dosagem do concreto e as especificações técnicas de projeto estejam em sintonia.

4.2.1.3 Módulo de finura

Os gráficos apresentados na Figura 66 e na Figura 67 apresentam os resultados obtidos do módulo de finura das composições granulométricas ensaiadas.

Todas as composições apresentaram um módulo de finura dentro de uma mesma faixa, não sendo perceptível a diferença de características das diversas misturas. O módulo de finura não se mostrou como parâmetro de avaliação do agregado graúdo.

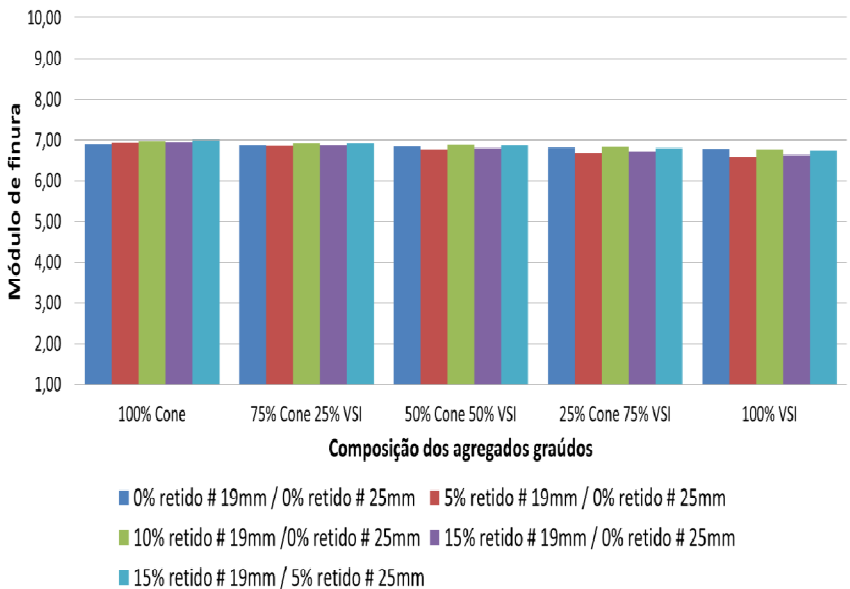


Figura 66: Módulo de finura das composições graníticas.

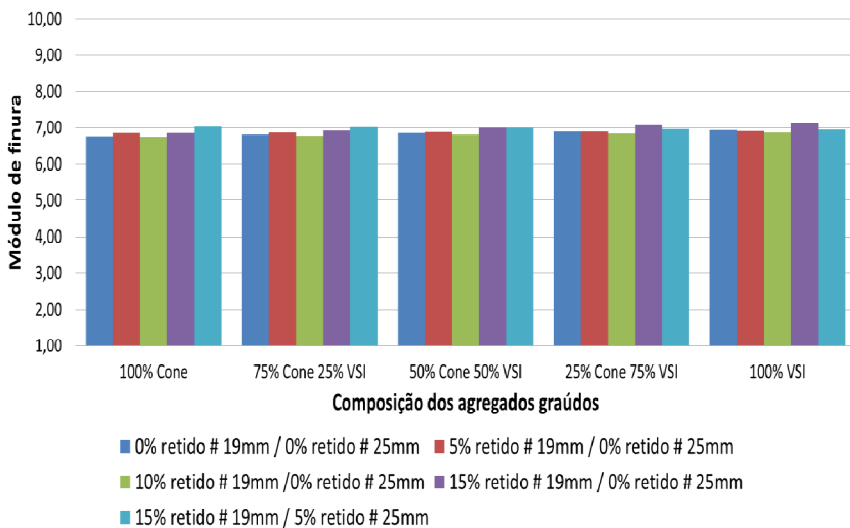


Figura 67: Módulo de finura das composições basálticas.

4.2.2 Massa unitária compactada

Nas figuras seguintes são apresentados os gráficos com os resultados dos ensaios de massa unitária compactada das diferentes composições.

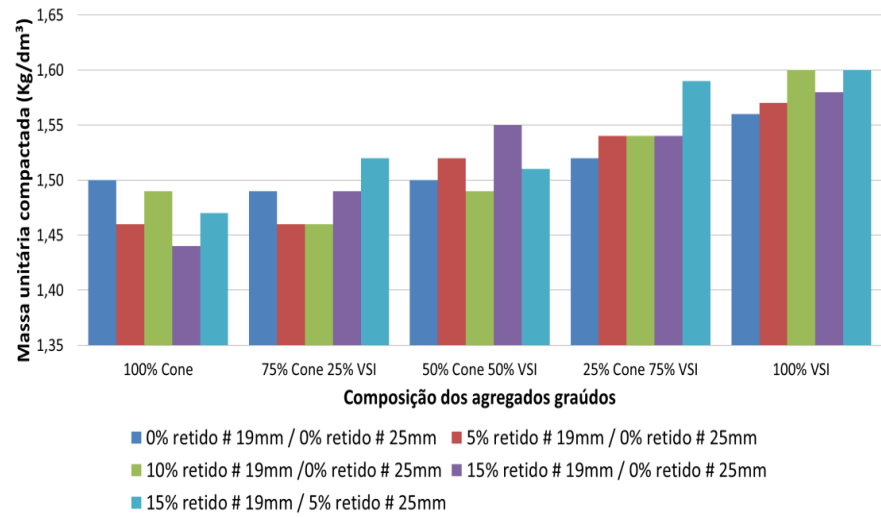


Figura 68: Massa unitária compactada das composições graníticas.

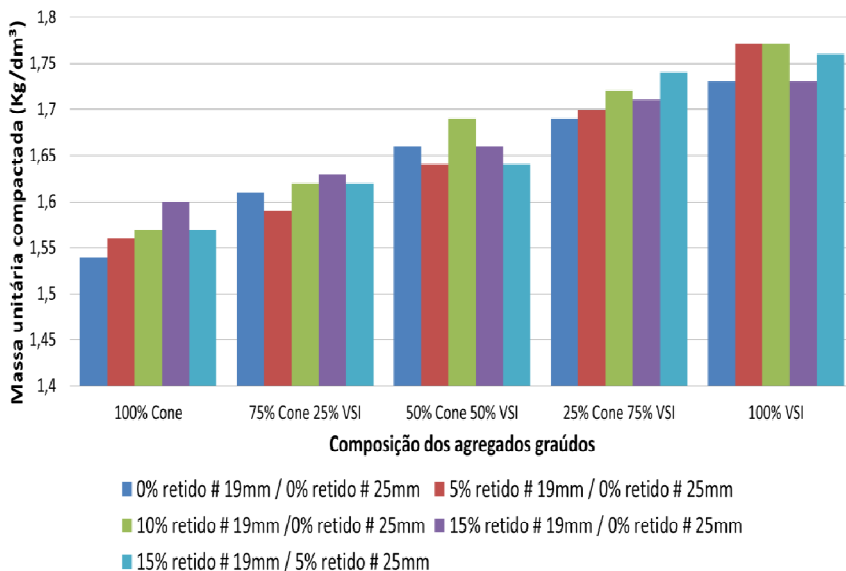


Figura 69: Massa unitária compactada das composições basálticas.

E ambas litologias ocorre aumento progressivo da massa unitária à medida que é acrescido o percentual de partículas que passaram por britagem autógena. Por outro lado, nos grupamentos de percentual de tipo de britador, onde se variou o tamanho das partículas, a dispersão não é tão significativa nem segue nenhuma tendência definida. Neste caso, a variação nos resultados parece ser originada pelo próprio ensaio e não pelas características do agregado. Sendo assim, o empacotamento dos grãos se dá pela distribuição granulométrica contínua, conforme visto nas curvas de distribuição granulométrica, onde o tamanho das partículas apresenta influência, com os grãos menores preenchendo os vazios entre os grãos maiores.

Frente a isto, foi calculada a média das faixas granulométricas para cada percentual devido ao equipamento de britagem (% cone/VSI) e comparado com a média das suas massas unitárias. Na Figura 70 e na Figura 71 são mostradas as linhas de tendência para o granito e basalto respectivamente.

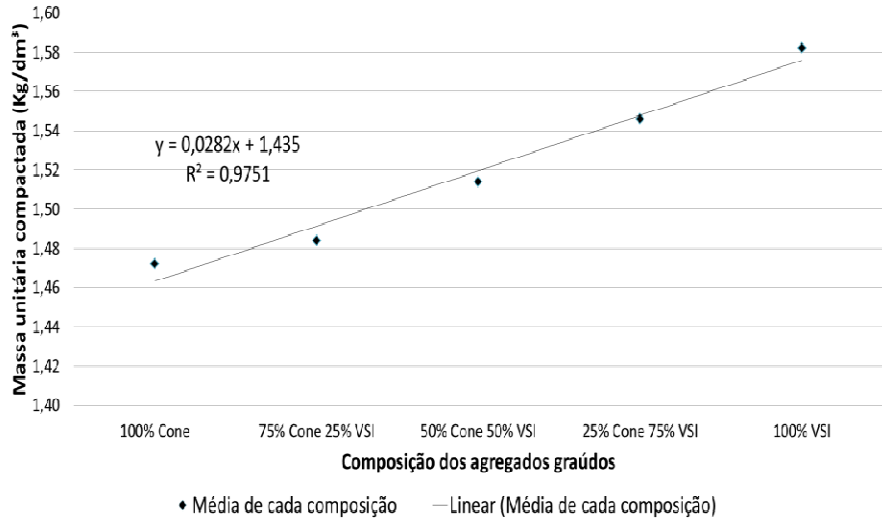


Figura 70: Linha de tendência da média das massas unitárias do granito.

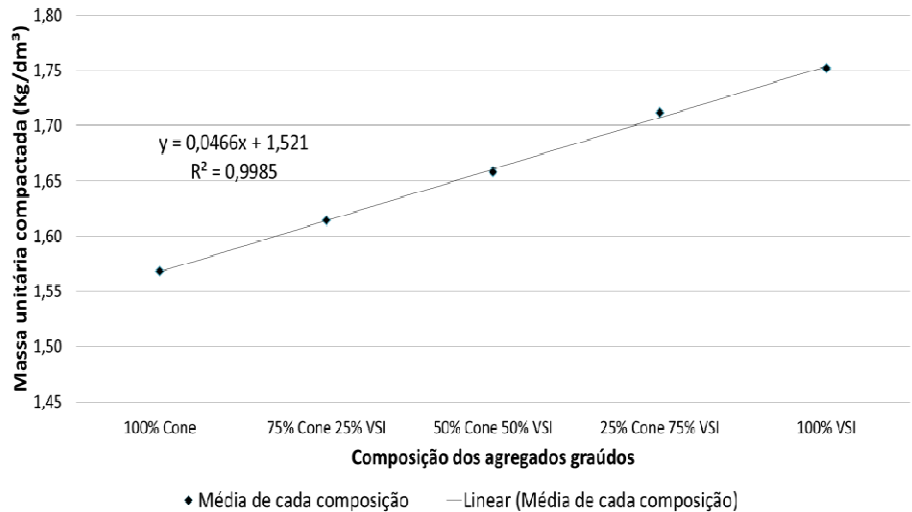


Figura 71: Linha de tendência da média das massas unitárias do basalto.

Analisando as informações acima é possível concluir que, enquanto o tamanho do grão aparentemente não influencia na massa unitária, o tipo de britador apresenta forte correlação.

A média da massa unitária do granito variou de 1,47 Kg/dm³ a 1,58 Kg/dm³ correspondendo a um gradiente de 0,11 Kg/dm³. A média da massa unitária do basalto variou de 1,57 Kg/dm³ a 1,75 Kg/dm³ correspondendo a um gradiente de 0,18 Kg/dm³. Conclui-se que partículas que passaram pelo VSI apresentam um melhor empacotamento e consequentemente menor teor de vazios, sendo mais acentuada esta condição para o material basáltico. Para a perfeita interpretação destes dados deve sempre ser considerada a massa específica de cada material. A avaliação pura da massa unitária de materiais com diferentes origens pode levar a conclusões equivocadas.

Uma interpretação volumétrica é mais apropriada e pode ser feita avaliando o teor de vazios. Como foi visto anteriormente, um menor teor de vazios corresponde a menos espaço a ser preenchido por argamassa. Os gráficos abaixo apresentam o teor de vazios de cada composição.

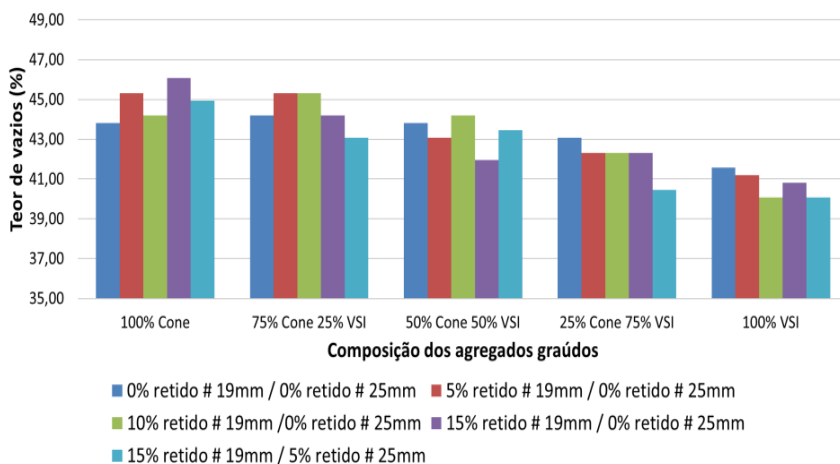


Figura 72: Teor de vazios das composições graníticas.

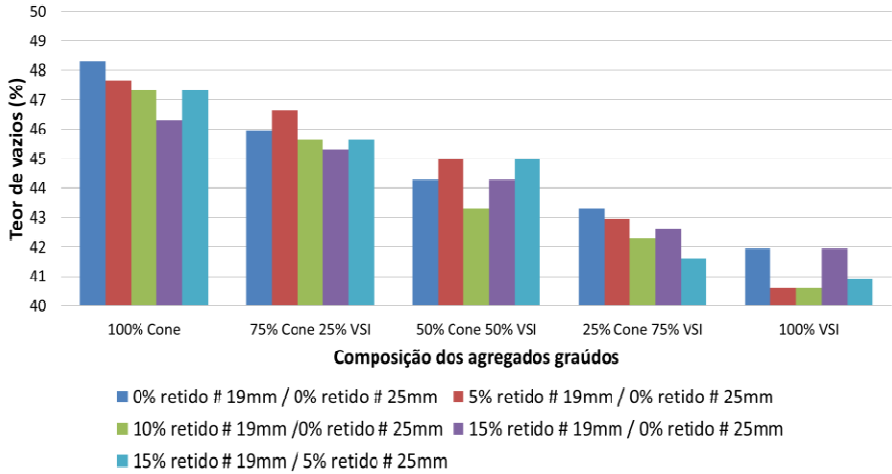


Figura 73: Teor de vazios das composições basálticas.

Como o teor de vazios é calculado a partir da massa unitária, através da seguinte equação:

$$\text{Teor de vazios} = (1 - (M.U.C. / \text{Massa específica})) \times 100$$

As mesmas análises são válidas aqui, ou seja, o teor de vazios está diretamente relacionado ao tipo de britador enquanto que a variação do tamanho dos grãos aparentemente não tem influência.

Com os mesmos critérios usados anteriormente pode-se avaliar as médias obtidas para os grupamentos de cada composição percentual devido ao tipo de britador analisando os gráficos apresentados nas figuras abaixo.

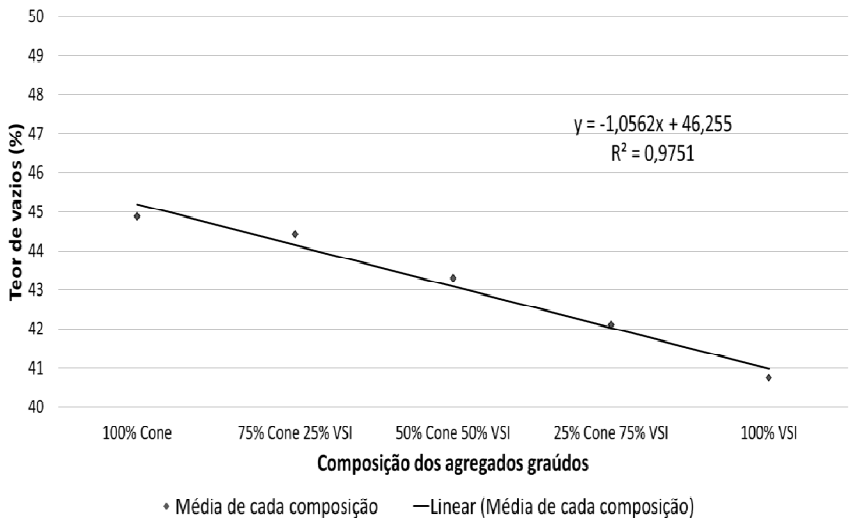


Figura 74: Linha de tendência da média do teor de vazios do granito.

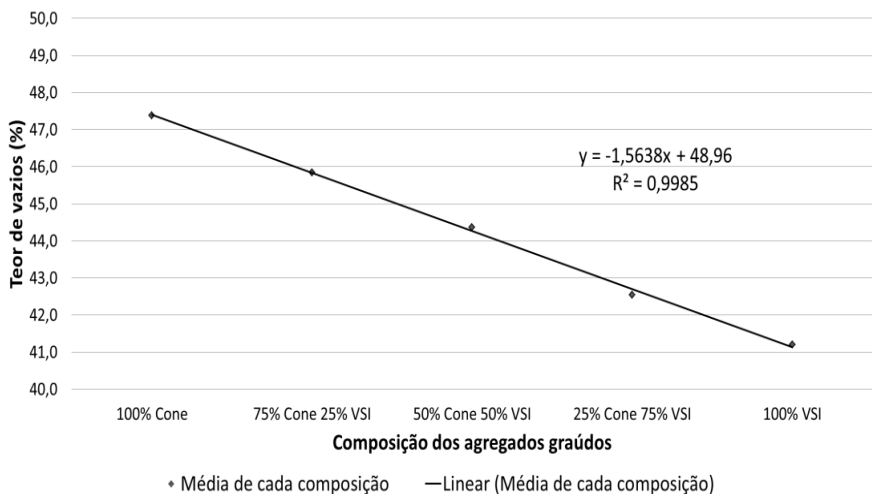


Figura 75: Linha de tendência da média do teor de vazios do basalto.

A média do teor de vazios do granito variou de 44,9% a 40,7% correspondendo a um gradiente de 4,2%. A média da massa unitária do basalto variou de 47,4% a 41,2% correspondendo a um gradiente de 6,2%.

Numa análise direta é possível afirmar que o concreto a ser produzido com material granítico que passou pelo VSI apresenta decréscimo linear de necessidade de volume de argamassa de 4,2% quando comparado com o agregado granítico produzido somente com o britador tipo cone. Para o concreto a ser produzido com material basáltico, o decréscimo linear de necessidade de volume de argamassa é de 6,2%. Comparativamente, o britador VSI colaborou com maior ação sobre o basalto na diminuição do teor de vazios, porém é evidente sua eficiência em ambos os casos.

Verifica-se que, quando comparados o granito e o basalto que foram reduzidos apenas pelo cone, existe uma diferença significativa no teor de vazios que passa a perder importância à medida que o percentual de partículas que passaram pelo VSI vai aumentando. Assim, concretos produzidos com agregados basálticos tendem a exigir mais argamassa que concretos produzidos com agregados graníticos quando o processo de redução é feito somente por britador cônico. Esta diferença não se mostra significativa quando a diminuição é feita por britagem autógena.

Uma observação importante a ser feita é que, quando existe uma diferença grande entre as massas específicas dos materiais, como ocorre aqui de 2,67 Kg/dm³ do granito para 2,98 Kg/dm³ do basalto, o efeito da gravidade sobre os grãos mais pesados faz com que os concretos produzidos com o material de maior massa específica necessitem de um teor de argamassa ligeiramente maior para que seja mantida a coesão.

4.2.3 Forma

A forma das partículas foi avaliada pelos três métodos: NBR 7809 (ABNT, 2006), NBR 5564 (ABNT, 2011) e BS 812:Seção 105.1:1989 / BS 812:Seção 105:1990. Abaixo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através de cada método e, ao final, é apresentada a correlação entre os resultados obtidos pelo método do paquímetro da ABNT NBR 7809:2006 com aqueles obtidos segundo as normas britânicas.

4.2.3.1 NBR 7809 (ABNT, 2006)

Esta norma determina o índice de forma pelo método do paquímetro do agregado graúdo. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 76 e na Figura 78.

Como era esperado, o tamanho das partículas não influenciou no índice de forma. Entretanto, o tipo de britador apresenta importância fundamental.

Nos gráficos seguintes são apresentadas as linhas de tendência do índice de forma, para cada litologia, onde são avaliadas as médias das composições percentuais devido ao equipamento de britagem.

É nítida a melhoria da forma das partículas dos agregados quando utiliza-se o britador do tipo VSI. A forma equidimensional dos grãos tem correlação direta com o teor de vazios conforme mostra a Figura 80 e a Figura 81.

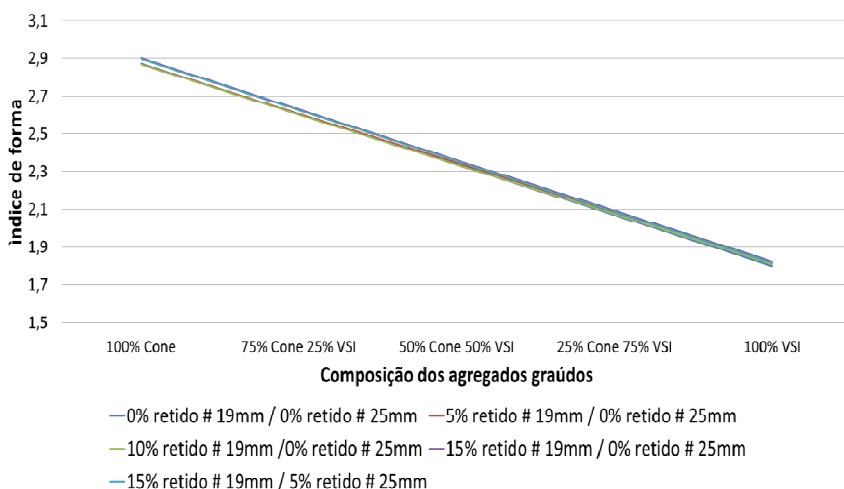


Figura 76: Índice de forma do granito - NBR 7809 (ABNT, 2006).

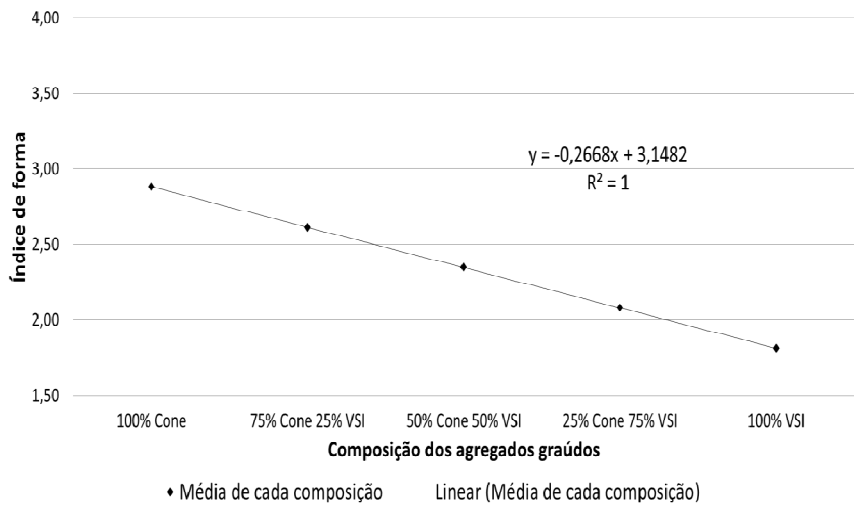


Figura 77: Linha de tendência da média do índice de forma do granito.

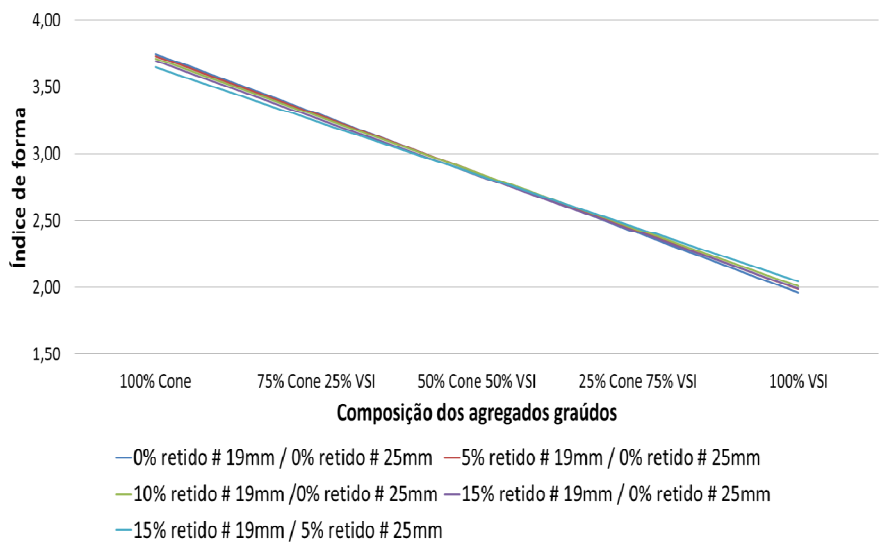


Figura 78: Índice de forma do basalto - NBR 7809 (ABNT, 2006).

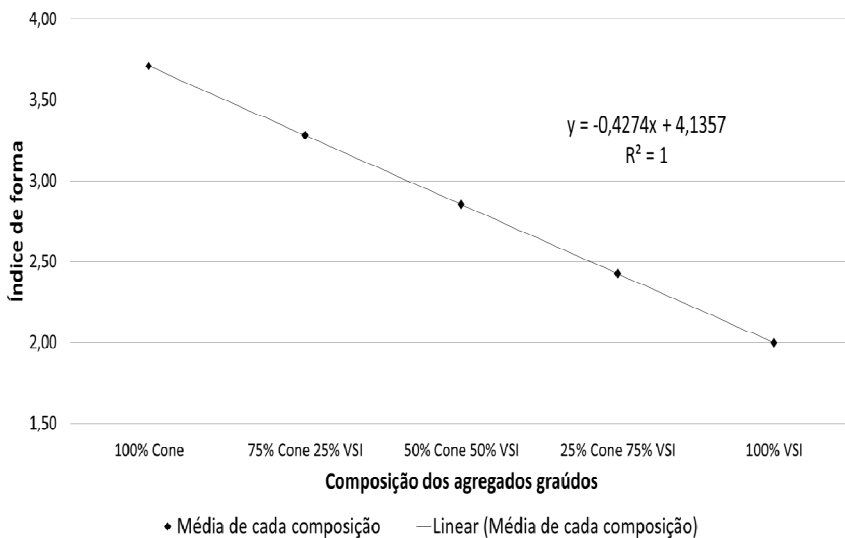


Figura 79: Linha de tendência da média do índice de forma do basalto.

A NBR 7211 (ABNT, 2009) limita o índice de forma do agregado graúdo em 3. Sendo assim, o granito que é britado somente no cone está no seu limite de utilização. No caso do basalto, quando se tem 75% de grãos britados somente no cone, o índice de forma é 3,28, acima do limite normativo. Por interpolação linear com a composição 50% cone e 50% VSI (índice 2,85) verifica-se que para esta origem mineral em torno de 41% do material obrigatoriamente deveria ser britado no VSI.

Com base nestas informações pode-se chegar à conclusão que o uso do britador VSI é praticamente indispensável na produção de agregados utilizados na produção de concreto de cimento Portland.

Correlação entre o índice de forma e teor de vazios das composições graníticas.

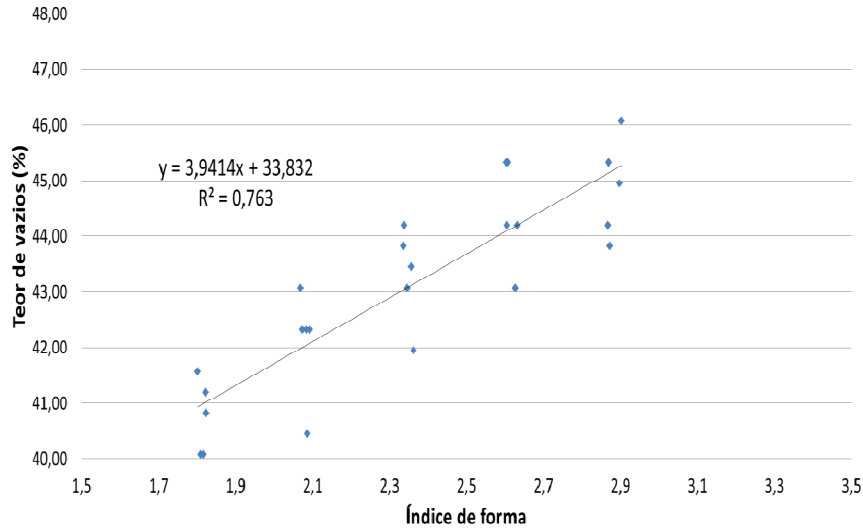


Figura 80: Correlação entre o índice de forma e teor de vazios do granito.

Correlação entre o índice de forma e teor de vazios das composições basálticas.

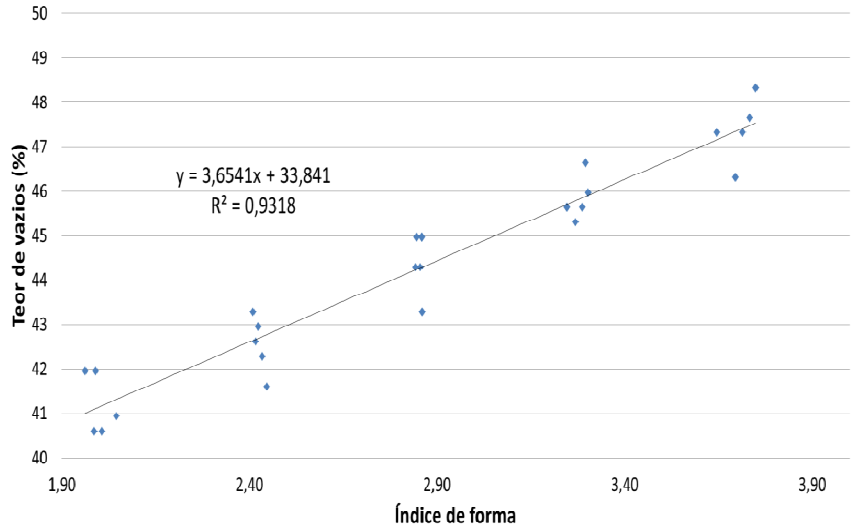


Figura 81: Correlação entre o índice de forma e teor de vazios do basalto.

É fato que o uso do britador tipo VSI encarece o custo do material. Então, para compensar o aumento de preço deste insumo, as empresas prestadoras de serviços de concretagem devem se valer da diminuição do teor de vazios, que naturalmente vai ocorrer, ajustando seus traços com menores teores de argamassa. Como o cimento é o insumo com maior peso financeiro no concreto, além de todos os benefícios técnicos que acompanham concretos com menores teores de argamassa, a redução de cimento decorrente da diminuição do teor de argamassa pode tornar os traços ajustados mais econômicos do que aqueles que vinham sendo usados.

4.2.3.2 NBR 5564 (ABNT, 2011)

A NBR 5564 (ABNT, 2011) Via férrea – Lastro ferroviário, apesar de citada em algumas publicações de estudos de concreto, não mostrou sentido para a avaliação do agregado para uso em concreto de cimento Portland.

Os dados dos ensaios realizados pelos métodos descritos por esta norma encontram-se no Anexo 6. Os procedimentos de ensaio são mais trabalhosos que o método proposto pela norma NBR 7809 (ABNT, 2006) e os resultados não apresentaram significância sendo considerada irrelevante a apresentação destes neste trabalho.

Esta norma divide as partículas em alongadas, alongadas-lamelares, lamelares e cúbicas. Esta nomenclatura se mostrou bastante útil para a interpretação dos dados obtidos através dos ensaios realizados conforme as normas britânicas.

4.2.3.3 BS 812:Seção 105.1:1989 e BS 812:Seção 105:1990

A norma britânica BS 8128:Seção 105.1:1989 mede a lamelaridade das partículas através do gabarito em forma de placa com aberturas definidas, conforme visto anteriormente, sendo seu resultado expresso em percentual de partículas achatadas, em massa. Da mesma forma, a norma britânica BS 812:Seção 105:1990 apresenta o resultado em percentual de partículas alongadas, em massa, medidos num calibre dotado de pinos com distâncias padronizadas.

Pode-se obter o percentual de partículas alongadas-lamelares considerando grãos que passam pela placa e ficam retidos no calibre. Estes dados não apresentaram importância para este trabalho.

Pesando as partículas que são retidas na placa de lamelaridade e passam pelo calibre de partículas alongadas, obtêm-se o que se denominou neste trabalho de percentual de partículas cúbicas (PC_{b.})

Assim como no método do paquímetro (NBR 7809 (ABNT, 2006)), o tamanho das partículas não influenciou no percentual de partículas cúbicas, sendo que o tipo de britador apresentou significativa influência.

Os resultados dos ensaios feitos por este método bem com as linhas de tendência das médias das composições percentuais devido ao tipo de britador são apresentados a seguir.

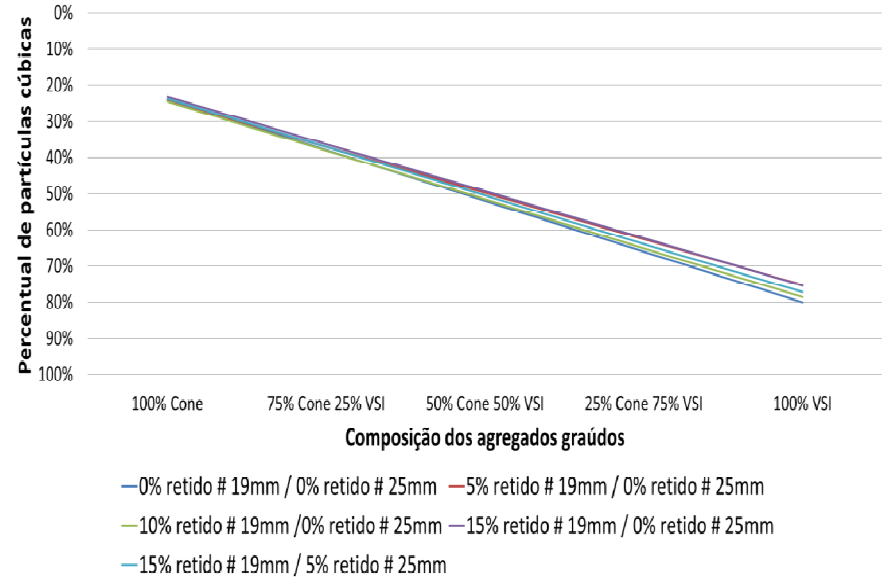


Figura 82: Percentual de partículas cúbicas do granito.

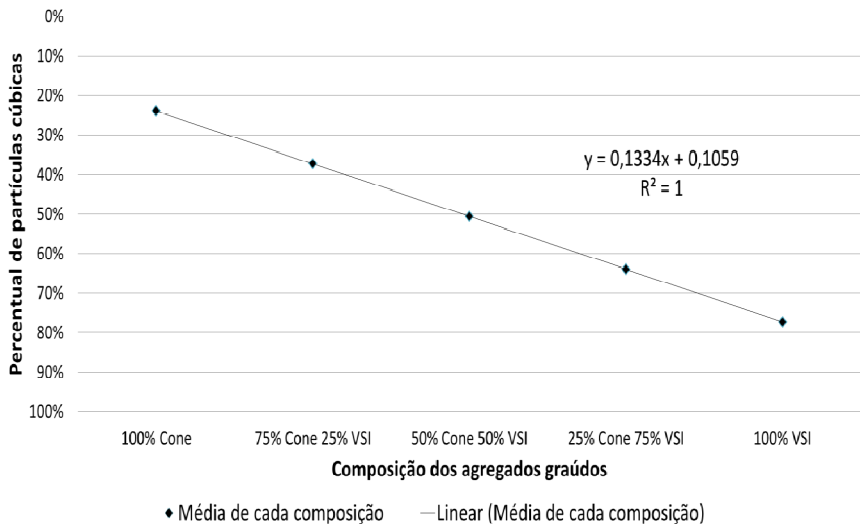


Figura 83: Linha de tendência da média do percentual de partículas cúbicas do granito.

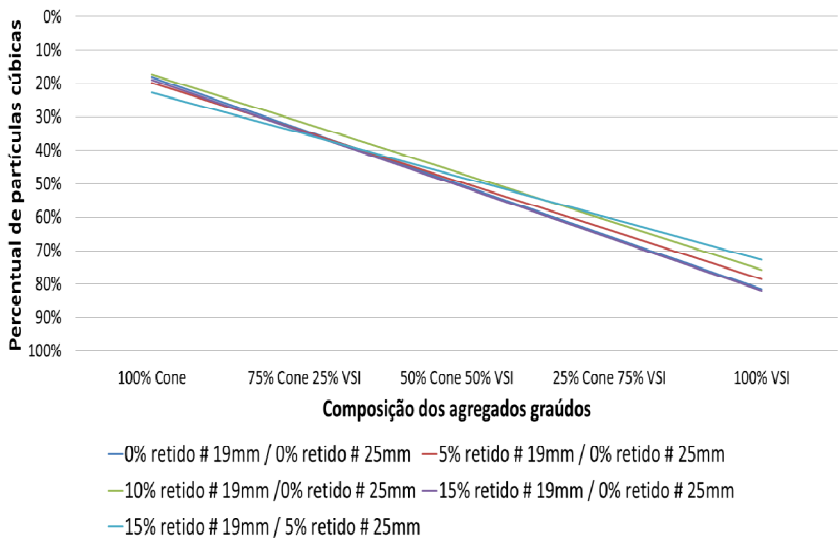


Figura 84: Percentual de partículas cúbicas do basalto.

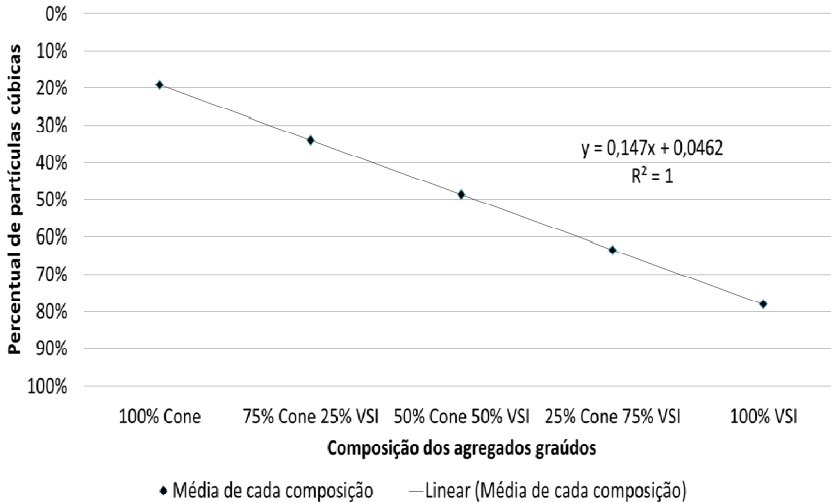


Figura 85: Linha de tendência da média do percentual de partículas cúbicas do basalto.

As normas britânicas limitam em 40%, em massa, o percentual de partículas lamelares. Não existem limites definidos para partículas alongadas, sendo considerada indesejável a presença de mais que 10% a 15% deste tipo de grão. Após determinar o percentual de partículas lamelares e o percentual de partículas alongadas aquilo que sobra é o percentual de partículas cúbicas. Baseado nestas informações é coerente considerar a necessidade de 60% de partículas cúbicas, em massa, no agregado usado para produzir concreto de cimento Portland.

Através dos ensaios realizados foi possível calcular a participação percentual de partículas cúbicas de acordo com o tipo de britador usado na fragmentação dos grãos. Abaixo é apresentada a memória de cálculo para determinar a necessidade percentual de participação de cada britador em ambas litologias.

Composições graníticas:

- Para $PC_b = 51\%$ → 50% cone e 50% VSI
- Para $PC_b = 64\%$ → 25% cone e 75% VSI
- Então para $PC_b = 60\%$ ≈ 33% cone e 67% VSI

Composições basálticas:

- Para $PC_b = 49\%$ → 50% cone e 50% VSI
- Para $PC_b = 63\%$ → 25% cone e 75% VSI
- Então para $PC_b = 60\%$ ≈ 30% cone e 70% VSI

Par atender a condição de 60% de partículas cúbicas, em ambos os casos, é necessário que aproximadamente 70% do material final tenha sido fragmentado por um britador VSI, além de ter sido reduzido pelo cone.

Como mostrado neste estudo, o uso de britador do tipo VSI é considerado praticamente imprescindível para atender as exigências normativas vigentes no Brasil. Assim, as plantas de britagem podem ser ajustadas de tal forma que o produto final atenda as condições descritas acima, melhorando as características do agregado e, conseqüentemente, viabilizando o processo através de ajustes com traços mais econômicos.

4.2.3.4 Correlação entre o método do paquímetro e placa de lamelaridade e calibre de partículas alongadas.

A norma NBR 7809 (ABNT, 2006) fornece um valor absoluto que representa o índice de forma, sendo que, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), não deve ser superior a 3 para uso em concreto de cimento Portland e, quanto mais próximo de um, mais equidimensional são as partículas. Muitas vezes este valor absoluto pode não permitir a perfeita visualização da forma das partículas sendo o procedimento de ensaio demorado e cansativo. O tempo médio gasto na execução deste ensaio, para cada fração estudada neste trabalho, foi de sessenta minutos.

Os gráficos abaixo mostram as curvas de correlação entre os dois métodos.

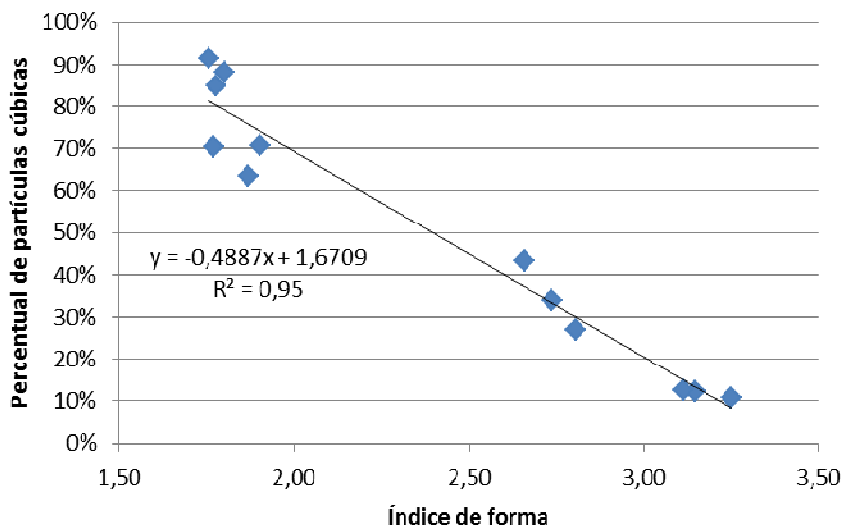


Figura 86 Correlação entre índice de forma e percentual de partículas cúbicas do granito.

Teste de hipótese:

$$H_0: \beta=0$$

$$t = -13,784$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

$$t_{\alpha} = 2,228$$

Para o granito existe relação significativa entre as variáveis com 95% de confiabilidade.

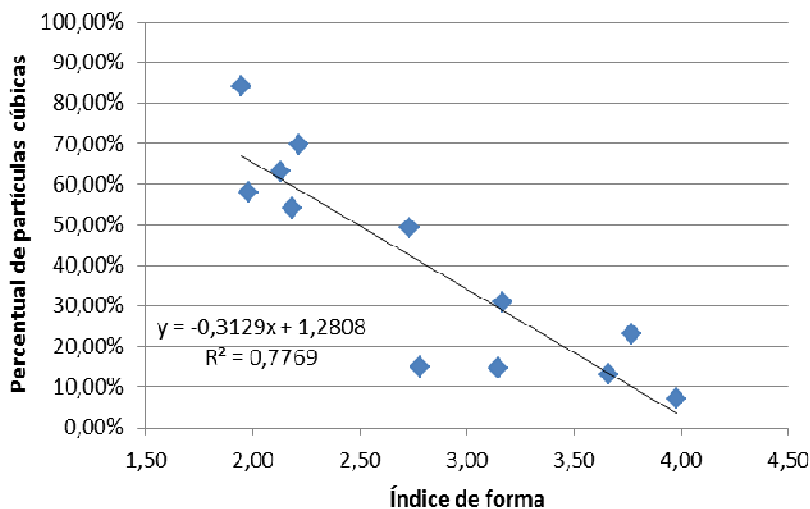


Figura 87: Correlação entre índice de forma e percentual de partículas cúbicas do basalto.

Teste de hipótese:

$$H_0: \beta=0$$

$$t = -5,900$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

$$\alpha = 2,228$$

Para o basalto existe relação significativa entre as variáveis com 95% de confiabilidade.

Para as duas litologias estudadas.

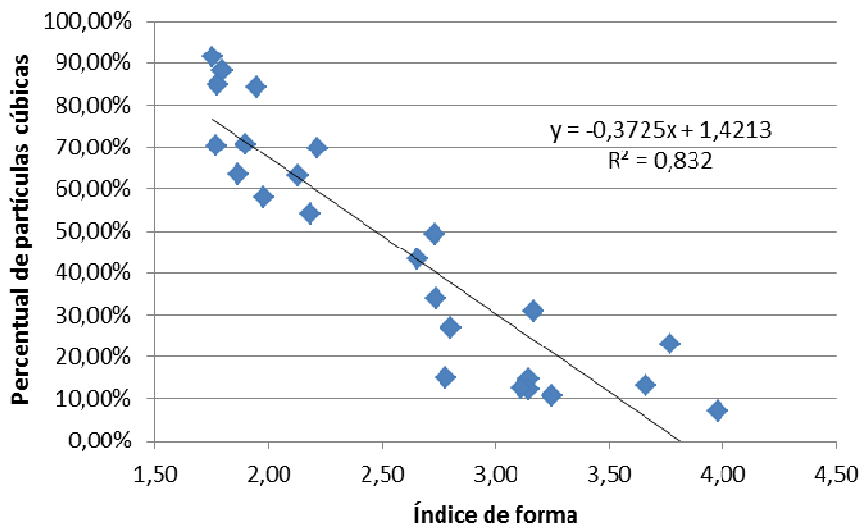


Figura 88: Correlação entre índice de forma e percentual de partículas cúbicas das duas litologias estudadas.

Teste de hipótese:

$$H_0: \beta=0$$

$$t = -10,430$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

$$\alpha = 2,074$$

Para ambas litologias analisadas conjuntamente, existe relação significativa entre as variáveis com 95% de confiabilidade.

Apesar não descrever a forma do grão, os ensaios de lamelaridade e alongamento que resultaram no percentual de partículas cúbicas se mostraram favoráveis para avaliação e acompanhamento dos agregados graúdos. O tempo total gasto na realização dos dois ensaios propostos pelas normas britânicas, para cada faixa granulométrica, não passou de vinte e cinco minutos e seu resultado expresso em percentagem de massa é de fácil entendimento.

Através da curva de correlação apresentada anteriormente, é possível ter uma estimativa da forma do agregado com os ensaios feitos pelo calibre de partículas alongadas e placa de lamelaridade.

4.3 *Resultados dos estudos em concreto*

Os resultados dos estudos em concreto, bem como a análise destes dados são apresentados a seguir. As tabelas contendo os dados obtidos dos ensaios são apresentadas no Anexo 5 e no Anexo 7.

Como todos os agregados foram secos em estufa existe uma absorção acentuada assim que é adicionada a água no momento da dosagem que é amenizada à medida que a pasta de cimento vai obstruindo os poros. De qualquer maneira, a absorção de água dos agregados depende do tempo que é gasto para acertar o traço e para que sejam feitos os ensaios, para efeitos de cálculo foi considerada uma absorção de um por cento (1%) para todos os agregados.

4.3.1 Abatimento

O ensaio de abatimento é um ensaio de referência onde é difícil chegar a um número exato. Todos os concretos testados, apresentaram abatimentos entre 11 cm e 13 cm e seus valores podem ser encontrados nas tabelas em anexo. Este ensaio serviu de limitador da adição de água nos traços.

4.3.2 Relação água/cimento real e relação água/materiais secos

Para cada dosagem, foi adicionada água até que fosse atingido o abatimento necessário aos ensaios. Desta forma, cada traço resultou em uma dosagem final diferente que é apresentada nas tabelas do Anexo 7.

Na sequência são apresentados os gráficos relativos à relação água/cimento e relação água/materiais secos.

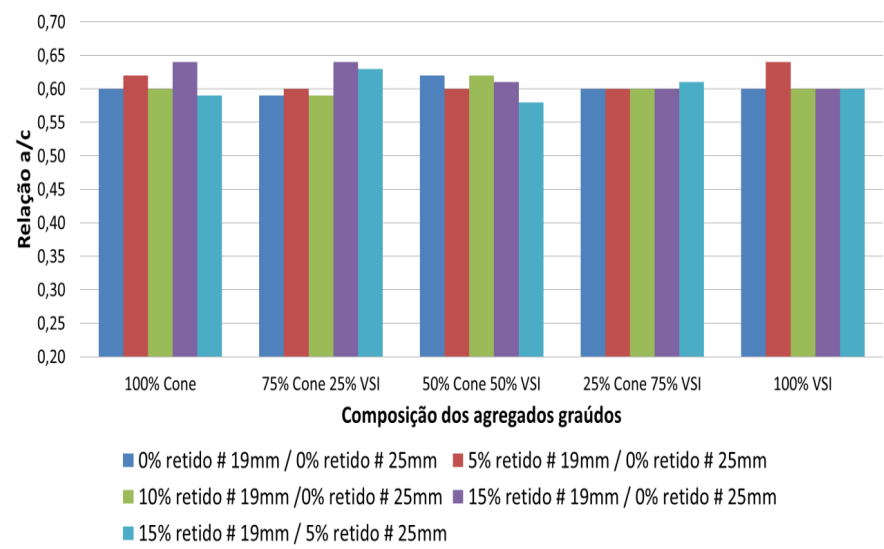


Figura 89: Relação água/cimento dos traços graníticos.

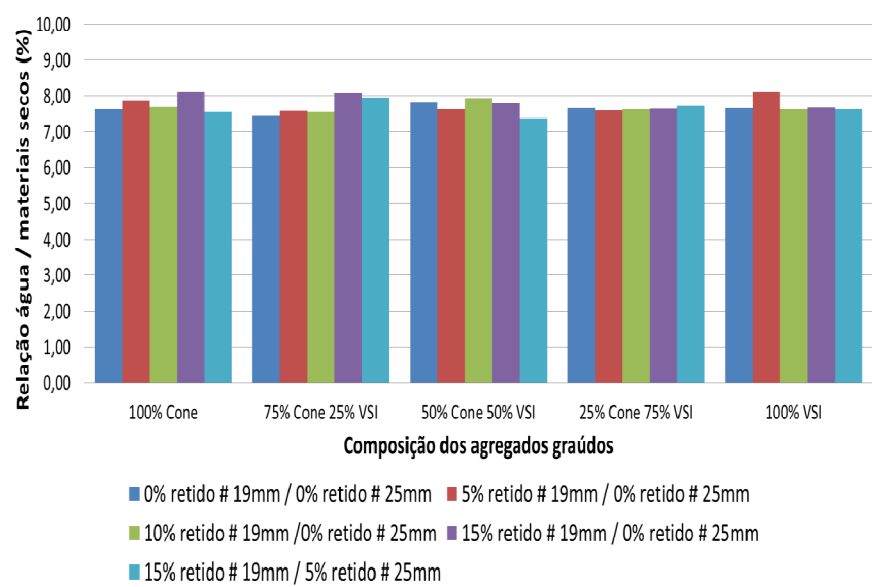


Figura 90: Relação água/materiais secos dos traços graníticos.

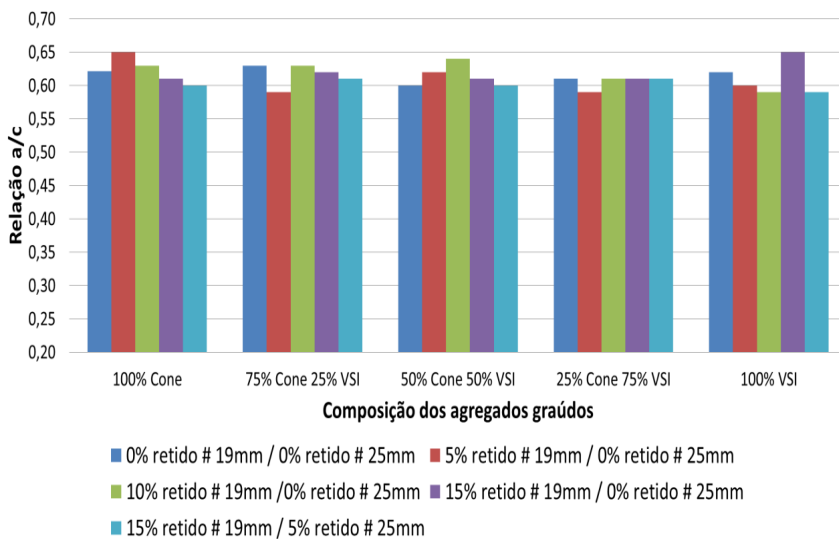


Figura 91: Relação água/cimento dos traços basálticos.

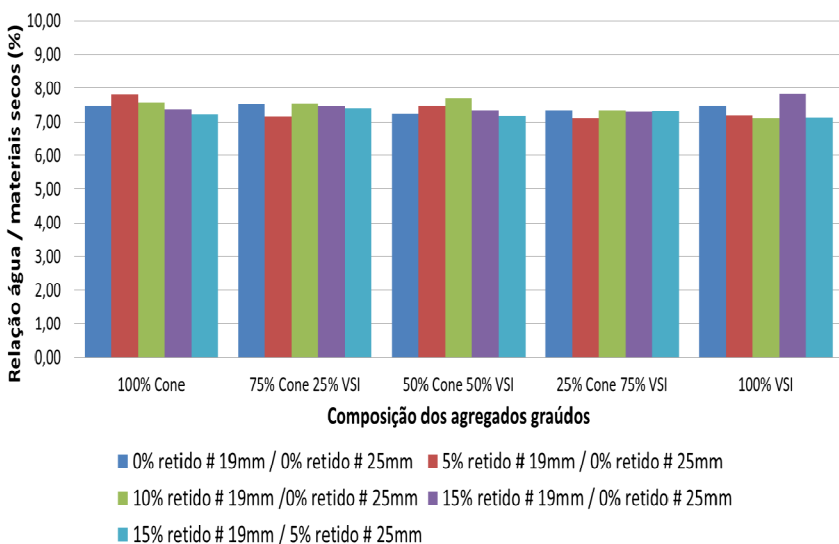


Figura 92: Relação água/materiais secos dos traços basálticos.

Aparentemente o consumo de água não foi afetado pela origem, forma e tamanho dos agregados.

4.3.3 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado parece não ser influenciado pela origem, forma e tamanho dos agregados.

Os ensaios do teor de ar incorporado foram feitos pelo método gravimétrico, conforme descrito pela norma NBR 9833 (ABNT, 2008). Os resultados destes ensaios podem ser afetados pelo tempo de ajuste das misturas, pois, como os agregados foram secos em estufa, quanto maior o tempo usado no acerto da quantidade de água necessária para atingir o abatimento desejado, mais água é absorvida pelas partículas. Então os grãos que absorveram maior quantidade de água apresentam peso maior que aqueles que absorveram menos água. Consequentemente, ocorrem variações nos resultados dos ensaios.

Isto explica o porquê dos desvios encontrados nos resultados obtidos neste estudo. Uma maneira de minimizar a influência da absorção do agregado seria trabalhar com o material na condição saturado.

A Figura 93 e a Figura 94 apresentam o teor de ar incorporado de cada mistura.

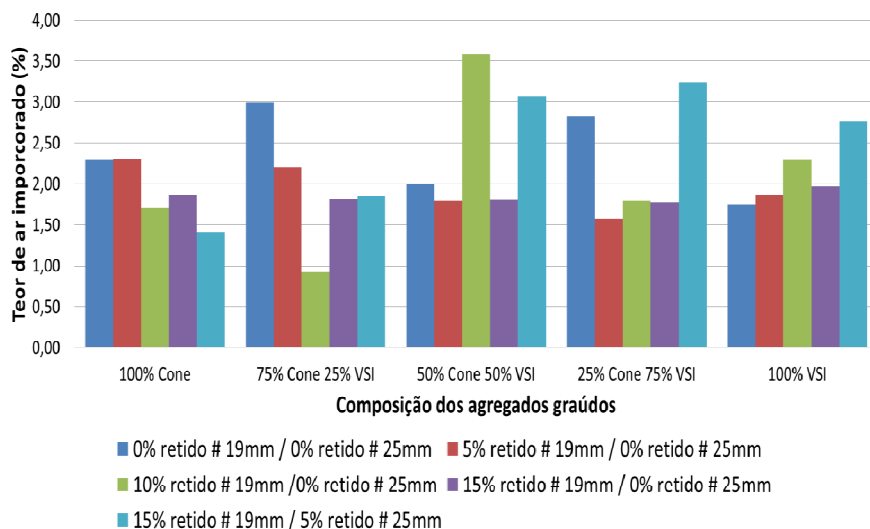


Figura 93: Teor de ar incorporado dos concretos graníticos.

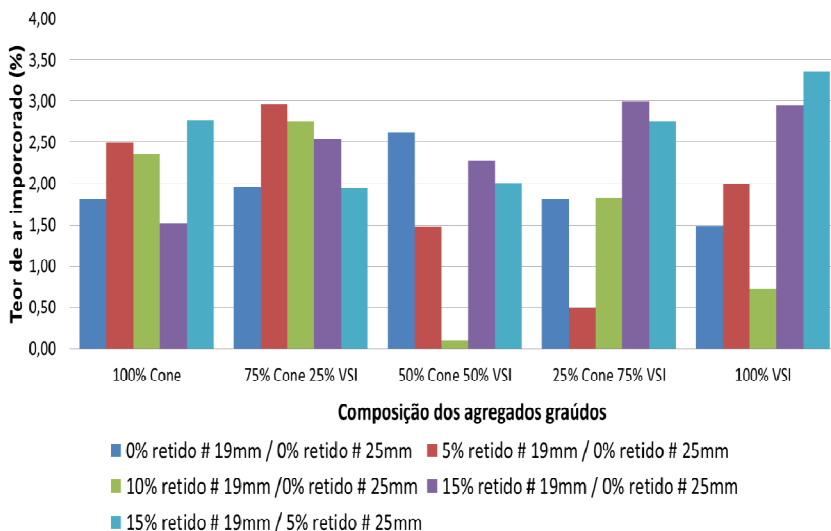


Figura 94: Teor de ar incorporado dos concretos basálticos.

4.3.4 Bombeabilidade

Apesar de ter sido usado com sucesso em outro trabalho e em ensaios preliminares ter tido um bom desempenho, durante a realização dos ensaios do cone invertido montado sobre uma base neste trabalho o comportamento não foi satisfatório.

Sempre que o material não descia na primeira tentativa o ensaio era repetido, em algumas vezes era confirmado que realmente não passava, em outros momentos descia na segunda tentativa, não apresentando um comportamento com tendência definida. Abaixo são apresentados os gráficos somente como ilustração.

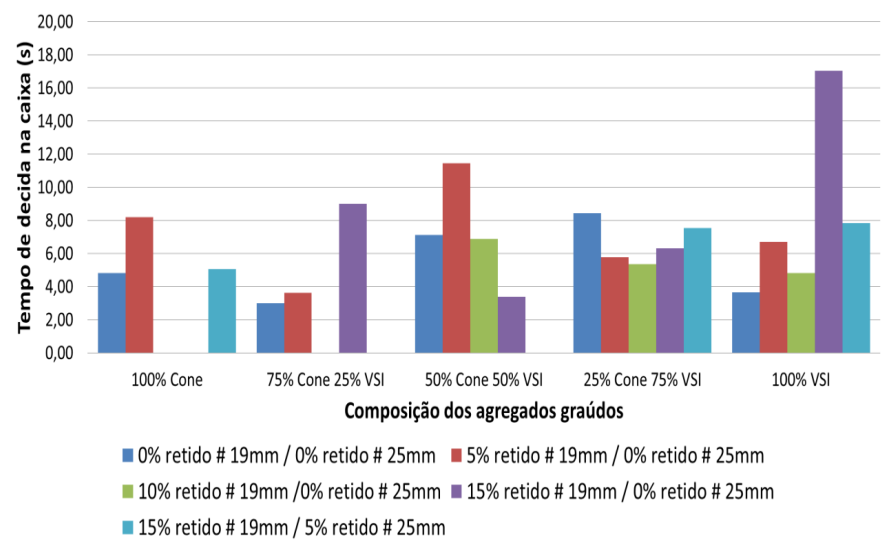


Figura 95: Tempo de decida no cone invertido dos traços graníticos.

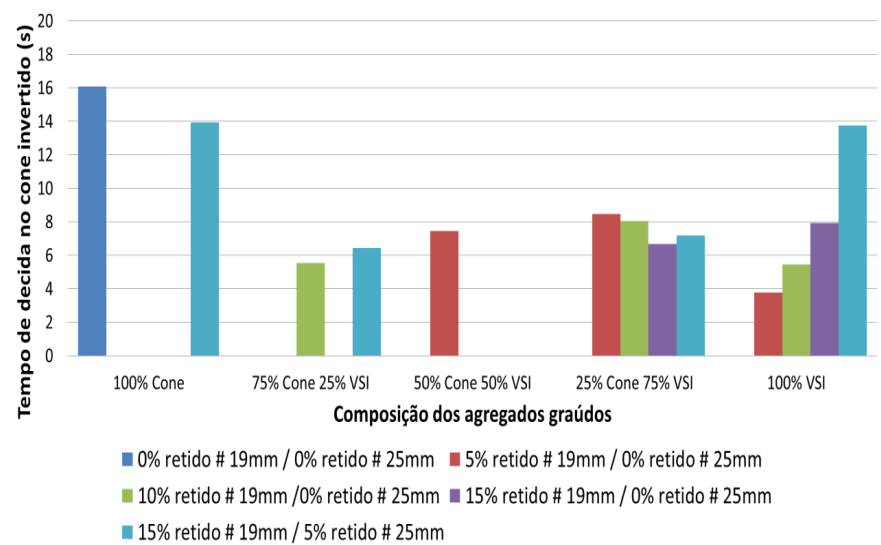


Figura 96: Tempo de decida no cone invertido dos traços basálticos.

Os espaços em branco correspondem aos concretos que não desceram no cone. Pode-se verificar, entretanto, que mais misturas

contendo agregados oriundos de VSI conseguiram escoar pelo cone invertido.

4.3.5 Lançamento

Os ensaios propostos para verificação do comportamento do concreto com as diferentes composições granulométricas foram realizados num aparato que ficou denominado de caixa I.

Nos ensaios preliminares realizados em campo na própria concreiteira, o tempo de descida se repetiu diversas vezes se mostrando bastante eficiente. Já nos ensaios de laboratório o comportamento não foi o mesmo. Nos ensaios laboratoriais o efeito parede se mostrou mais acentuado possivelmente devido à diferença de homogeneização entre o balão do caminhão e a betoneira de 120 litros usada no laboratório.

Durante a vibração, algumas observações foram feitas e são explanadas a seguir.

Tanto para o granito quanto para o basalto, à medida que era aumentado o percentual de grãos equidimensionais, diminuía a tendência de segregação, sendo visível que primeiro descia parte da argamassa para depois, sob o efeito da vibração, descer o restante do material.

O granito apresentava formas mais esféricas. Com isso, à medida que o tamanho do grão era aumentado, a habilidade passante diminuía, sendo que na faixa 15% retido na peneira 19 mm / 5% retido na peneira 25 mm, em todas as composições, houve material retido acima das barras onde o maior volume de material retido de todas as misturas foi de 925,4 g no granito 100% cone com 15% retido na peneira 19 mm e 5% retido na peneira 25 mm. Para todos os demais traços, o material retido não passou de 260 g, não se apresentando como parâmetro significativo.

No basalto, as partículas de maior dimensão apresentavam uma forma como de uma placa que havia sido quebrada ao meio quando passadas pelo VSI e em forma de cunha quando passadas pelo cone. Ao serem submetidas ao ensaio, estas partículas se acomodavam perpendicularmente ao passar pelas barras facilitando a descida do material.

O tempo de descida é apresentado nos gráficos abaixo.

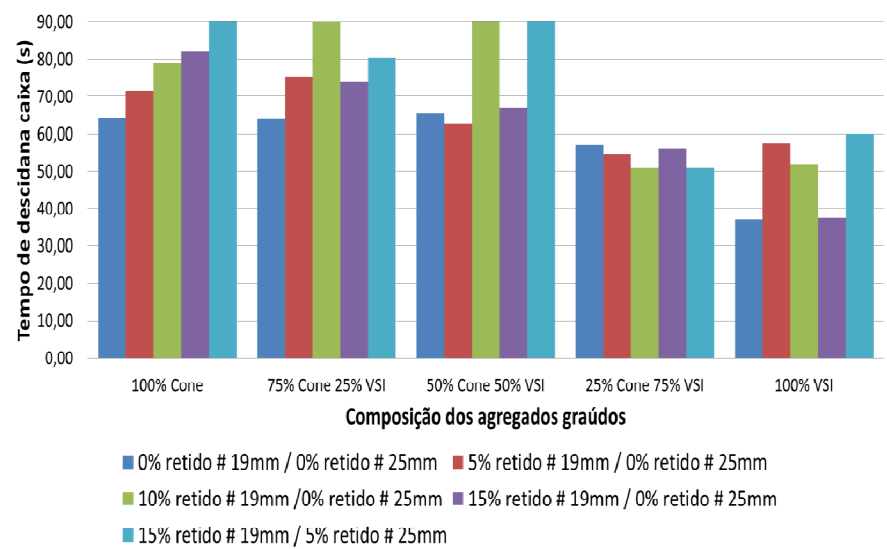


Figura 97: Tempo de descida dos traços graníticos.

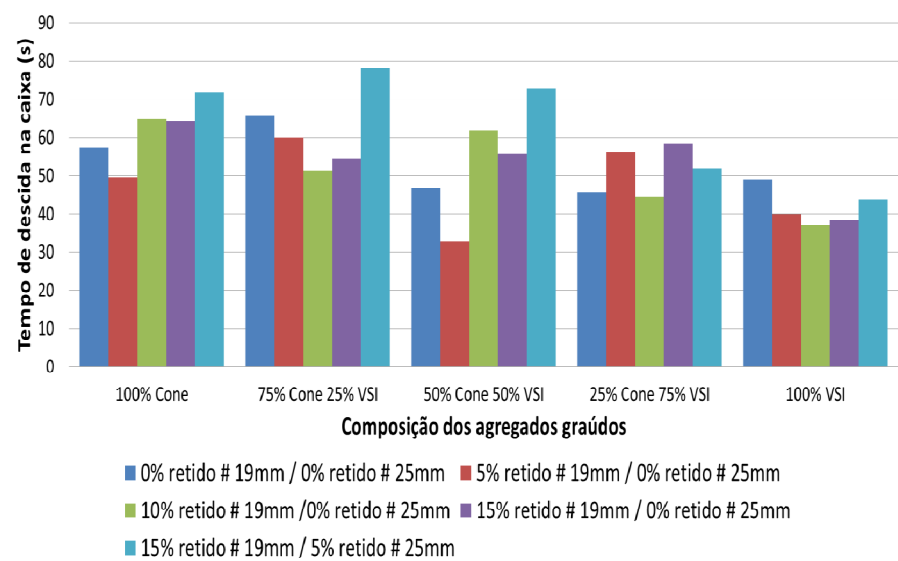


Figura 98: Tempo de descida dos traços basálticos.

Com exceção das britas graníticas 100% cone, que tiveram um aumento gradual no tempo de descida à medida que se aumentava o

tamanho dos grãos, o aumento do tamanho das partículas não resultou num padrão de tempo medido na caixa I. Contudo, percebe-se nítida influência devido ao tipo de britador.

Analisando as médias devido à variação do tamanho das partículas com as composições percentuais devido ao tipo de britador, temos os seguintes gráficos.

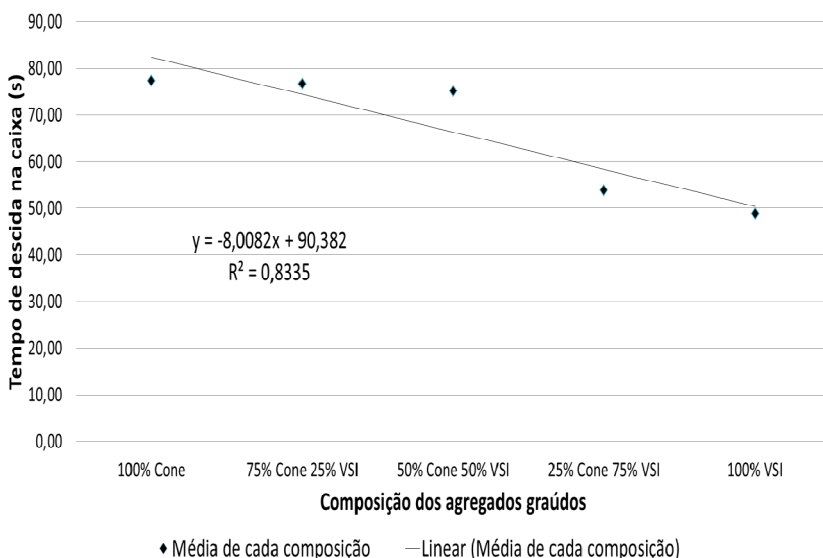


Figura 99: Linha de tendência do tempo de descida na caixa I do concreto granítico.

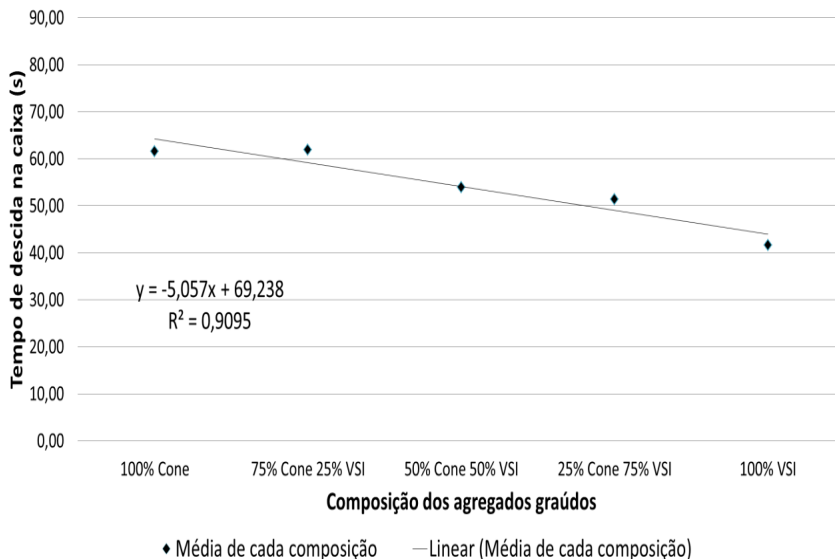


Figura 100: Linha de tendência do tempo de descida na caixa I do concreto basáltico.

Existe uma diminuição gradual do tempo de descida na caixa devido ao tipo de britador usado que é mais acentuada para o granito, pois, como visto anteriormente, as partículas do basalto se acomodam de modo preferencial para passar pelas barras.

Em alguns traços, a vibração foi encerrada antes dos 90 segundos com algum material ainda acima das barras. Isto ocorreu em casos isolados onde nitidamente o material ficou retido devido às limitações do equipamento e não pela falta de habilidade passante do material. As misturas em que isto ocorreu podem ser vistas na tabela constante do Anexo 7, onde está anotado o peso de material retido na caixa com tempo de descida inferior a 90 segundos. Estes incidentes não apresentaram nenhum padrão de ocorrência e foram pouco significativos, constando aqui como informação adicional.

A inspeção visual durante a limpeza se mostrou como boa ferramenta de avaliação do teor de argamassa. Como pode ser visto na Figura 50, os concretos com partículas do cone apresentavam extrema segregação. Quando era aumentada a participação dos agregados de VSI, gradualmente se percebia que começava sobrar argamassa.

A Figura 101 mostra o momento da inspeção. Neste momento é possível se verificar se os grãos lamelares estão orientados

perpendicularmente facilitando o surgimento de pontos de fraqueza devido à exsudação interna do concreto.



Figura 101: Inspeção visual do concreto durante limpeza do aparato.

4.3.6 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias são apresentados a seguir.

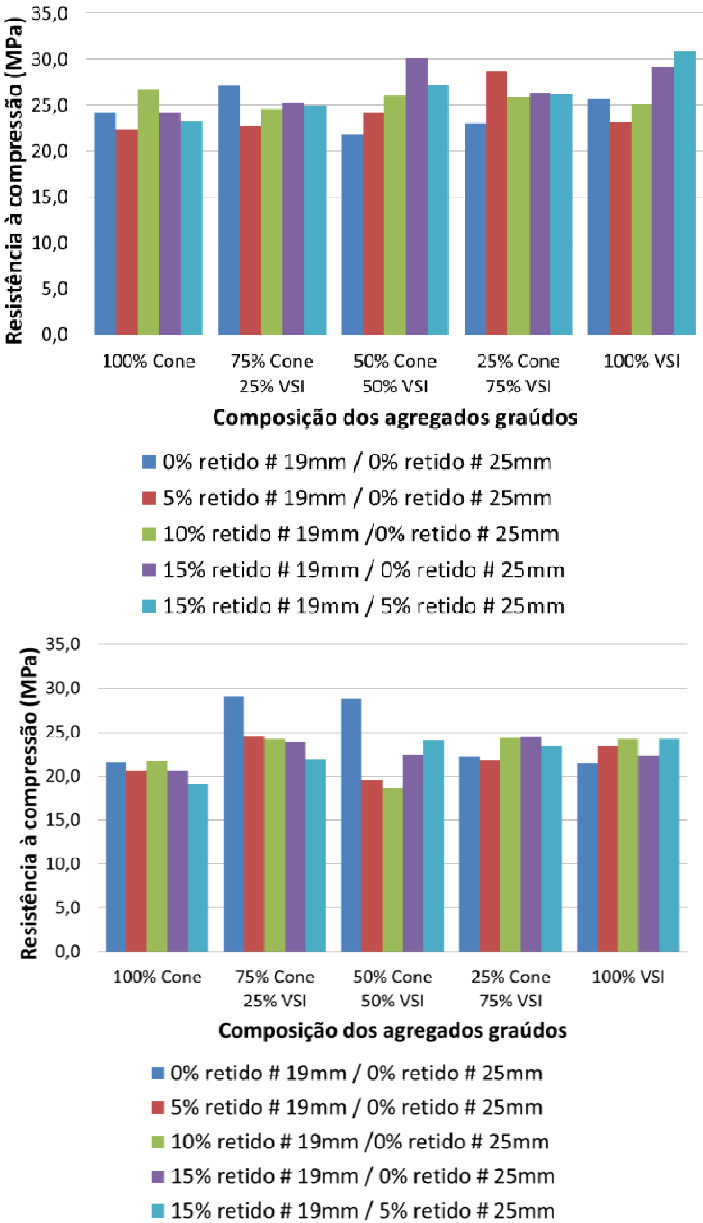


Figura 102: Resistência à compressão aos 28 dias dos concretos graníticos, acima, e dos concretos basálticos, embaixo.

A forma, tamanho e origem dos materiais não apresentam influência nos concretos estudados. A dispersão dos dados é atribuída basicamente ao processo de fresa dos corpos de prova.

4.4 Método da ABCP / ACI

Este método de dosagem de concreto é baseado no teor de vazios levando em consideração a dimensão máxima do agregado, a massa unitária do agregado graúdo e o módulo de finura do agregado miúdo.

A Tabela 24 apresenta os teores de argamassa resultantes dos cálculos através deste método. Os cálculos na sua íntegra podem ser obtidos no Anexo 8.

Tabela 24: Teor de argamassa calculado pelo método ABCP / ACI.

Composição granulométrica (% retido # 19mm / # 25mm)	Cone / VSI (%)	Teor de argamassa (%)	
		Granito	Basalto
0/0	100/0	48,9	50,0
	75/25	49,1	47,9
	50/50	48,6	46,3
	25/75	47,8	45,6
	0/100	47,1	44,5
5/0	100/0	49,7	48,6
	75/25	50,1	48,5
	50/50	48,4	47,3
	25/75	47,7	46,5
	0/100	46,1	43,4
10/0	100/0	47,6	48,9
	75/25	49,2	47,1
	50/50	46,2	44,5

Continua

Continuação

10/0	25/75	45,9	43,1
	0/100	43,6	42,4
15/0	100/0	48,8	46,9
	75/25	47,0	45,2
	50/50	45,3	44,6
	25/75	45,8	42,8
	0/100	44,3	41,4
15/5	100/0	48,7	47,4
	75/25	46,3	46,1
	50/50	46,6	45,7
	25/75	43,1	42,0
	0/100	43,1	41,1

Os valores foram calculados com base nos resultados obtidos do procedimento experimental deste trabalho. Nos gráficos que seguem (Figura 103, Figura 104, Figura 105 e Figura 106), são apresentados os teores de argamassa calculados pelo método da ABCP / ACI para cada composição bem como a linha de tendência das médias devido ao tipo de britador.

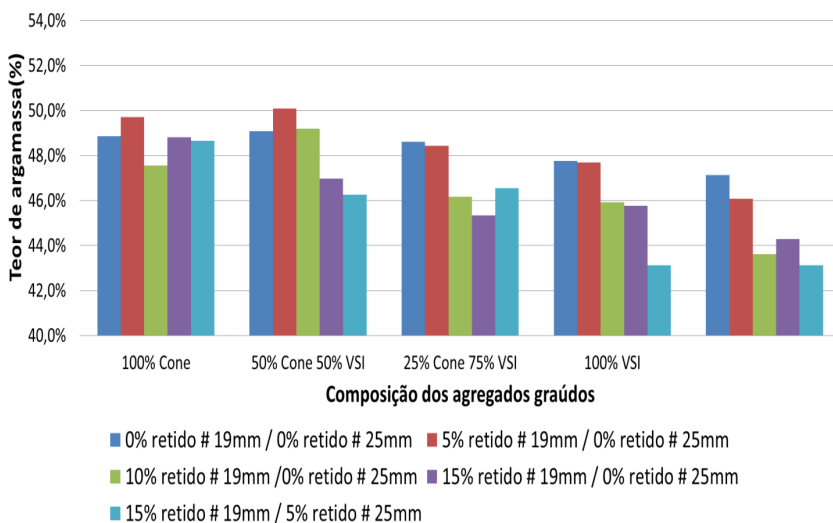


Figura 103: Teor de argamassa das composições graníticas calculados pelo método ABCP / ACI.

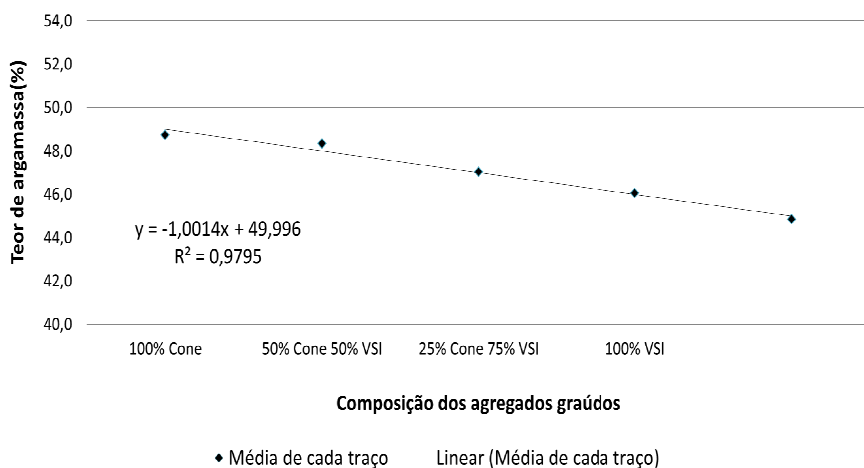


Figura 104: Linha de tendência das médias dos teores de argamassa das composições graníticas calculados pelo método ABCP / ACI.

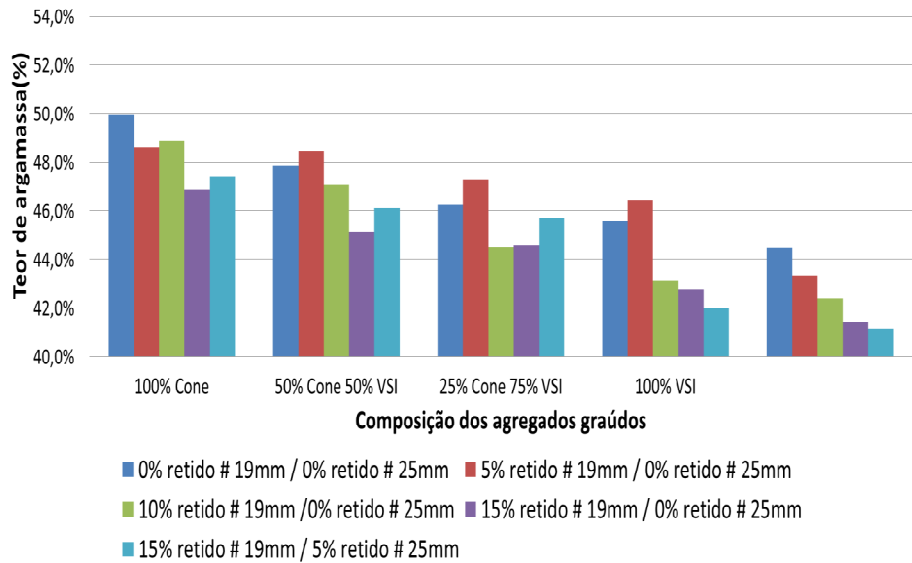


Figura 105: Teor de argamassa das composições basálticas calculados pelo método ABCP / ACI.

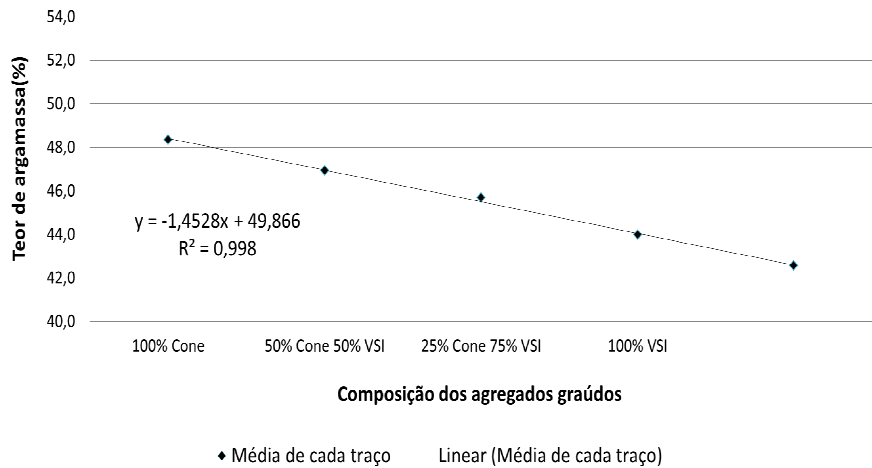


Figura 106: Linha de tendência das médias dos teores de argamassa das composições basálticas calculados pelo método ABCP / ACI.

É claro que estes teores de argamassa devem ser ajustados para o uso em centrais dosadoras de concreto, mas através dos cálculos de dosagem feitos por este método é possível comprovar que o uso de britadores do tipo VSI permite diminuir o teor de argamassa das misturas de concreto de cimento Portland trazendo junto todos os benefícios técnicos e econômicos decorrentes.

Não foram encontrados dados precisos de quanto cimento pode ser economizado com a diminuição do teor de argamassa, porém, informações baseadas na experiência dos tecnologistas das concreteiras relatam que, para cada menos 1% de teor de argamassa necessário na dosagem dos traços de concreto, de cinco a sete quilogramas de cimento podem ser economizados.

A diminuição de teor de argamassa médio calculado é de aproximadamente quatro pontos percentuais para o granito e de mais de cinco e meio pontos percentuais para o basalto. Considerando o preço do cimento a R\$ 0,35 por quilograma pode-se chegar a uma economia de R\$ 9,80 por m³ de concreto produzido com agregado granítico e R\$ 13,48 por m³ de concreto produzido com agregado basáltico.

5 Considerações finais

Verificou-se que o procedimento de dosagem atualmente utilizado pelas centrais dosadoras de concreto adapta os traços de concreto aos agregados disponíveis na região, considerando mais questões econômicas que técnicas.

Esta prática trás à tona critérios de norma como durabilidade e deformação que acabam ficando esquecidos. Métodos de dosagem que considerem o teor de vazios e consequentemente diminuição do teor de argamassa parecem mais apropriados, pois, com certeza melhoram várias propriedades do concreto, como por exemplo, retração e módulo de elasticidade.

Os ensaios comumente utilizados para caracterização do agregado graúdo, que são a distribuição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica, não são suficientes para avaliar e acompanhar a qualidade do agregado graúdo usado na dosagem de concreto por empresas de serviço de concretagem. Ensaios que referenciem a forma do agregado se fazem necessários.

Neste trabalho foi possível verificar que a forma do agregado graúdo tem mais influência no desempenho do concreto, no estado fresco, que a granulometria. O método do paquímetro, que é o ensaio normatizado no Brasil, se mostrou pouco eficiente para uso rotineiro, é um ensaio cansativo e demorado de ser feito que o torna inviável para acompanhamento em campo da forma dos agregados.

Não basta caracterizar o agregado para os estudos de dosagem dos traços de uma central dosadora de concreto, com o passar do tempo vários fatores podem influenciar na operação das britagens. vindo a alterar as características do produto final. Sendo assim, o acompanhamento da forma do agregado se torna obrigatório para que as vantagens obtidas devido ao uso do agregado com teor de grãos cúbicos mais elevado seja mantido. O ensaio feito pelos gabaritos propostos pela norma britânica se mostrou extremamente adequado, por sua simplicidade e rapidez, existindo uma boa correlação entre este e o método do paquímetro.

O requisito normativo da NBR 7211 (ABNT, 2009) onde o coeficiente de forma é limitado em 3, mostra que o uso de britadores do tipo VSI é praticamente obrigatório na produção de agregado graúdo de britagem para uso em concreto dosado em central.

Quando é inserido em uma planta de britagem um britador do tipo VSI, o custo final por tonelada de agregado produzido é aumentado. Desta forma, para que seja viável economicamente o uso deste britador o

ajuste dos traços nas concreteira é obrigatório. Além do aspecto financeiro, este ajuste trás reflexos de melhoria na qualidade do concreto.

Como visto no método de dosagem da ABCP/ACI, que leva em consideração o teor de vazios, quando se usa agregado com percentual de partículas cúbicas mais alto é possível dimensionar traços de concreto com teores de argamassa mais baixos e consequentemente mais econômicos. Sendo esta uma solução para viabilizar a produção de agregados de britagem com características próprias ao uso em concreto dosado em central. Lembrando que para isso a manutenção das características do agregado ao longo do tempo é fundamental.

No transcorrer do trabalho foi mostrado que, pelas normas britânicas, pode-se adotar 60% de partículas cúbicas como limite mínimo para o agregado de uso em concreto de cimento Portland. Através das curvas de correlação obtidas nos estudos pode-se mostrar que 60% de partículas cúbicas correspondem a um coeficiente de forma próximo de 2,2.

Como o uso do VSI, nesta pesquisa, foi considerado praticamente imprescindível na produção de agregados para uso em concreto e para que isto seja viável economicamente, os traços de concreto precisam ser melhorados. Nada mais lógico que potencializar o uso destes equipamentos, reduzindo o limite do coeficiente de forma atual da norma brasileira para um valor mais próximo do proposto pelas normas britânicas, ou seja, se reduzir de 3 para algum valor em torno de 2,2.

O método proposto para avaliação do lançamento mostrou algumas limitações. Contudo, serviu para avaliar determinadas propriedades do concreto fresco, podendo ser aperfeiçoado. A forma e o tamanho dos grãos apresentaram influência no desempenho do concreto, porém suas deficiências acabam sendo supridas através de ajustes no traço. Da mesma forma ocorre no dia a dia, onde se acaba corrigindo as deficiências dos materiais através do ajuste dos traços para que se tornem utilizáveis. Esta prática viabiliza a operação diária, porém, apresenta outros custos que além da visão econômica imediata tendem a surgir com o passar do tempo.

Nem a forma nem o tamanho dos grãos afetaram na demanda de água dos concretos, para o mesmo abatimento e com o uso do mesmo aditivo plastificante. A relação água/matérias secas é influenciada diretamente pelo teor de argamassa que, nestes estudos não foi alterado.

Muito é discutido sobre o comportamento do concreto. De acordo com as características apresentadas pelo agregado é possível

prever qual desempenho irá apresentar o concreto produzido com este material. Ou seja, a melhoria das propriedades dos agregados tem como resultado direto o aumento da qualidade do concreto. Enfim, a otimização do agregado graúdo para uso em centrais dosadoras de concreto se mostra como uma condição obrigatória para atender as exigências necessárias de desempenho do concreto de cimento Portland.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Existe a perspectiva de que a qualidade do agregado para uso em concretos dosados em central tenha que ser melhorada devido as crescentes exigências do setor. Com isso, muitos estudos precisam ser feitos. Na sequência são apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros.

Um estudo complementar a este trabalho pode variar o teor de argamassa de acordo com a forma do agregado, neste caso parâmetros como resistência à compressão e consumo de água, que não apresentaram alteração no presente trabalho, bem como critérios relativos ao custo poderiam ser avaliados com mais propriedade.

Como a qualidade e a quantidade do agregado graúdo tem forte influência na deformação do concreto, estudos que considerem o módulo de deformação e retração são bastante apropriados.

Conforme comentado, a caixa I pode ser aperfeiçoada. O procedimento de inspeção visual pode ser aprimorado, usando inclusive parâmetros comparativos através de imagens para avaliação, criando-se diferentes níveis de sobra de argamassa ou segregação.

Apesar de na prática ser amplamente utilizado a mistura de brita 0 (zona granulométrica 4,75/12,5) e brita 1 (zona granulométrica 9,5/25), a distribuição granulométrica resultante não é normatizada. Então pesquisas que considerem a alteração das atuais zonas granulométricas para zonas ótimas e zonas utilizáveis para o agregado graúdo, seguindo o modelo já utilizado para o agregado miúdo, podem colaborar muito para a produção de agregados nas pedreiras como também melhorar a operação de centrais dosadoras de concreto, especialmente as do tipo “TOW-GO”.

Referências Bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 304.2R-96**: Placing concrete by pumping methods. Farmington Hills, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C33/C33M – 11a**: Standard specification for concrete aggregates. West Conshohocken, 2011.

_____. ASTM 123

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL**. ABESC, São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 51**: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM ISO 565**: Peneiras de ensaio – Tela de tecido metálico, chapa metálica perfurada e lâmina eletroformada – Tamanhos nominais de abertura. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISSO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 5564**: Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7809**: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15823-4**: Concreto auto-adensável Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

ARNDT, J.A.; SOUZA, J.S.; BIANCHINI, M.. **INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE FORMA DO AGREGADO GRAÚDO NA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO**. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonsálves, RS - 2007.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B.. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Gráfica Imprinta, Rio de Janeiro, 2006.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 812:Section 105.1**: Testing aggregates Part 105. Methods for determination of particle shape Section 105.1 Flakiness index. London, 1989.

_____. **BS 812:Section 105.2**: Testing aggregates Part 105. Methods for determination of particle shape Section 105.2 Elongation index. London, 1990.

CAMPOS, E.E.; FRAZÃO, E.B.; CALAES, D.C.; HERRMANN, H.. **AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL Contribuições para Formulação de Políticas Públicas**. In: TANNÚS, M.B., CARMO, J.C.C. (Org.). Rona Editora, Belo Horizonte, 2007.

DAMO, G. F.. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland**. 230 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

FARIAS, M.M.; PALMEIRA, E.M.. **Agregados para a Construção Civil**. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) Materiais de Construção

Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2010. Cap. 16. p. 483 - 526.

FIGUEIREDO, E.J.P.. **Noções de patologia e reparo do concreto**. Notas de aula, Curso de Pós Graduação Tecnologia do Concreto – IDD, Florianópolis, 2013.

GARCIA, R.B.. **Avaliação da atmosfera marinha em estruturas de concreto na região de Florianópolis-SC**. 165 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GIAMMUSSO, S.E.. **Manual do concreto**. São Paulo. Pini, 1992.

GUIMARÃES, A.T.C.. **Propriedades do Concreto Fresco**. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2005a. Cap. 16. p. 473 - 494.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo. Pini, 1993.

HORIBA SCIENTIFIC. **Particle Characterization Products**. Disponível em: <http://www.horiba.com/us/en/scientific/products/particle-characterization/>. Acesso em: 21 mai. 2012.

IRAMINA, W.S.; TACCHIBANA, I.K.; CAMARGO SILVA, L.M.; ESTON, S.M.. Identificação e controle de riscos ocupacionais em pedreira da região metropolitana de São Paulo. **REM: Revista da Escola de Minas vol. 62 no.4 Ouro Preto out./dez. 2009**. Ouro Preto, 2009. p. 503-509. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000400014. Acesso em: 17 jul. 2012.

JOHN, V.M.; ÂNGULO, S.C.. **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos**. In: ROCHA, J.C.; JOHN, V.M. (Ed.) **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional – Coleção HABITARE v.4**. ANTAC, Porto Alegre, 2003.

KEKEC, B.; UNAL, M.; SENSOGUT, C.. Effect of the textural properties of rocks on their crushing and grinding features. **Journal of University of Science and Technology Beijing**. Vol. 13, p. 385, 2006.

KWAN, A.K.H.; MORA, C.F.; CHAN, H.C.. Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing. **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, pp. 1403-1410. 1999.

LA SERNA, H.A.; Rezende, M.M.. **Agregados para construção civil**. Disponível em: anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf. Acesso em: 12 mar. 2013.

LAY, J.. **The effects of natural aggregates on the properties of concrete**. In: NEWMAN, J.; CHOO, B.S. (Ed.) Advanced Concrete Technology Constituent Materials. Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington, 2003. Cap. 08 p. 8/1 – 8/16.

LIMA, J.A.R.. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 129 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. Pini, 1994.

METSO MINERALS. **Manual de Britagem**. 6ª Edição. Sorocaba, 2005.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2ª Ed. rev. atual. São Paulo. Pini, 1997.

PILZ, S.E.; PAVAN, R.C.; MENDONZA FAKHYE, R.J.; TORRESCANA, C.E.; CAVALHEIRO, E.K.. **Concreto bombeado: verificação da variabilidade das propriedades entre a saída do caminhão betoneira até a chegada no local da concretagem**. In: Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba, PR - 2009.

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Materiais de Construção Civil I**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFSC, 2007.

POOLE, A.; SIMS, I. **Geology, aggregates and classification**. In: NEWMAN, J.; CHOO, B.S. (Ed.) Advanced Concrete Technology Constituent Materials. Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington, 2003. Cap. 05 p. 5/3 – 5/34.

PUTZMEISTER BRASIL. **Bombas de concreto**. Disponível em: <http://www.putzmeister.com.br/produtos>. Acesso em: 23 jul. 2012.

QUIROGA, P.N.; FOWLER, D.W.. **THE EFFECTS OF AGGREGATES CHARACTERISTICS ON THE PERFORMACE OF PORTLAND CEMENT CONCRETE**. RESEARCH REPORT ICAR – 104 – 1F – The University of Texas at Austin, Austin, 2003.

REGATTIERI, C.E.X.; MARANHÃO, F.L.. **Produção e Controle de Concreto Dosado em Central**. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2011. Cap. 14. p. 501 - 536.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados para Concreto**. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2005. Cap. 11. p. 323 - 343.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto**. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). Concreto: Ciência e

Tecnologia. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2011. Cap. 07. p. 233 - 260.

SBRIGHI NETO, C. A **evolução dos agregados na tecnologia do concreto convencional e arquitetônico**. In: Programa MasterPEC do Instituto Brasileiro do Concreto. Congresso IBRACON, Bento Gonsálves, 2007.

SCHWING STETTER. **Produtos e Equipamentos**. Disponível em: <http://www.schwingstetter.com.br/produutos-equipamentos>. Acesso em 25 jul. 2012.

SIQUEIRA TANGO, C.E.. **Produção, Transporte e Controle do Material Concreto**. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2005. Cap. 17. p. 495 - 525.

SOLOTEST. **Catálogo SOLOTEST Concreto & Agregado**. Disponível em: http://www.solotest.com/catalogos/Catalogo_SOLOTEST_Concreto.pdf. Acesso em: 09 jul. 2012.

VALVERDE, F.M.. Agregados para construção civil. **Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Disponível em: [http://simineral.org.br/arquivos / Agregados para Construção Civil Fernando Mendes Valverde.pdf](http://simineral.org.br/arquivos/Agregados%20para%20Construcao%20Civil%20Fernando%20Mendes%20Valverde.pdf). Acesso em: 20 mai. 2011.


VALVERDE, F.M.; TSUCHIYA, O.Y.. Visão da Mineração de Agregados no Brasil: Diagnóstico, Tendências e Desafios. **Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil 2007**. Disponível em: [http://rodovias verdes. ufsc. br / files / 2010 / 03 / Diagnostico-do-setor-de-agregados.pdf](http://rodovias.verdes.ufsc.br/files/2010/03/Diagnostico-do-setor-de-agregados.pdf). Acesso em: 21 mai. 2011.

WEIDMANN, D. F.. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 268 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

W.S. TYLER. **CPA PARTICLE SIZE ANALYZER AND PARTICLE SHAPE ANALYZER**. Disponível em: <http://www.wstyler.com/html/cpa.html>. Acesso em: 17 mai. 2012.

Anexo 1

Análise petrográfica do material a ser estudado, fornecido pelo produtor.



CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Documento **RELATÓRIO DE ENSAIO** Número **33268/138674**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

ENSAIO EM AMOSTRAS DE ROCHA

Cliente: CEDRO ENGENHARIA COMÉRCIO E MINERAÇÃO
Rod. BR 101, km 402 s/n
Vila Beatriz – MARACAJÁ - SC

Material ensaiado: duas amostras, constituídas por blocos (pedra de mão), brita (diversos tamanhos), pedrisco e areia, entregues à CIENTEC e declaradas pelo Cliente, como procedentes das unidades São José e Maracajá. No Laboratório de Mecânica e Tecnologia de Rochas as amostras foram identificadas conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Identificação e numeração das amostras recebidas.

CIENTEC Amostra nº	Identificação do Cliente
33268/1	Material da Unidade São José
33268/2	Material da Unidade Maracajá

Solicitação do Cliente: ensaios de sanidade, desgaste Los Angeles, resistência ao esmagamento e determinação de teor de argila em torrões e materiais friáveis.

Data do recebimento do material: 05 de dezembro de 2011.

Data de realização do ensaio: 13 de dezembro de 2011 a 25 de janeiro de 2012.

Métodos:

- apreciação petrográfica macroscópica segundo ABNT NBR 7389-2/2009 - Ensaio acreditado no INMETRO segundo o Certificado de Acreditação no CRL 0210;
- sanidade segundo DNER ME 089/1994 - Ensaio acreditado no INMETRO segundo o Certificado de Acreditação no CRL 0210;
- desgaste Los Angeles segundo ABNT NBR NM 51/2001 - Ensaio acreditado no INMETRO segundo o Certificado de Acreditação no CRL 0210;
- resistência ao esmagamento segundo ABNT NBR 9938/1987;
- teor de argila em torrões e materiais friáveis segundo ABNT NBR 7218/2010.


RESULTADOS

1. Apreciação petrográfica macroscópica

Amostra 33268/1

Cor: Amostra seca = cinza claro, com manchas cinza escuro, brancas e pontuações pretas.
Amostra úmida = cinza claro, com manchas cinza escuro, brancas e pontuações pretas.

Estrutura: maciça.



1/7

Mod. 05

Rua Washington Luiz, 675 CEP 90010-460 Porto Alegre RS Brasil caixa postal 1864 CGC 92.816.685/0001-67
tel (51) 3287.2000 fax (51) 3226.0207 e-mail cientec@cientec.rs.gov.br homepage www.cientec.rs.gov.br

Apreciação petrográfica 1/7.

Documento **RELATÓRIO DE ENSAIO**Número **33268/138674**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

Textura: granular grossa.

Minerais: Avaliação visual (%)

Feldspatos.....40-50

Quartzo.....30-40

Biotita.....15-20

Teste para ácido clorídrico: não reativo.

Alteração: rocha sã.

Classificação provável: granito.

Propriedades físico-mecânicas: rocha muito coerente.

Forma dos fragmentos: equidimensional (válido somente para a brita)

A Foto 1 mostra aspectos de cor e textura da amostra (uma das frações) recebida.

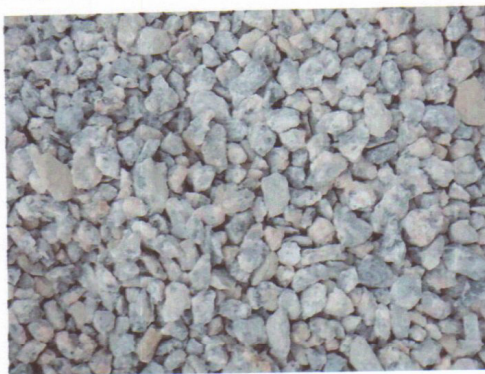


Foto 1- Aspectos de cor e textura da amostra 33268/1.

Amostra 33268/2

Cor: Amostra seca = preta.

Amostra úmida = preta.

Estrutura: maciça.

Textura: afanítica.

Teste para ácido clorídrico: não reativo.

Alteração: rocha sã.

Classificação provável: basalto.

Propriedades físico-mecânicas: rocha muito coerente.

Forma dos fragmentos: equidimensional a lamelar.

A Foto 2 mostra aspectos de cor e textura da amostra (uma das frações) ensaiada.



Foto 2- Aspectos de cor e textura da amostra 33268/2.

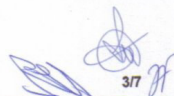
2. Sanidade

O ensaio foi executado fazendo-se a imersão da amostra em solução de sulfato de sódio (Na_2SO_4) anidro e secagem em estufa. Esse procedimento foi repetido 5 vezes.

A perda ponderada por fração e total do ensaio não foi calculada, pois não foi informada a distribuição granulométrica de trabalho. Seu cálculo, no entanto, pode ser feito, multiplicando-se a porcentagem de perda de cada fração empregada no ensaio pela respectiva porcentagem de material retido (obtida de análise granulométrica ou curva granulométrica desejada). Após, somam-se todos os valores obtidos e divide-se por 100.

Amostra 33268/1

Os resultados da análise quantitativa são apresentados no Quadro 2a, enquanto no Quadro 2b são apresentados os resultados da análise qualitativa. A Foto 3 mostra uma fração granulométrica antes e após o ensaio.



3/7

Documento **RELATÓRIO DE ENSAIO**Número **33268/138674**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

Quadro 2a - Resultados da análise quantitativa da amostra 33268/1.

Quadro 2a - Resultados da análise quantitativa da amostra 3326071.

Abertura das peneiras (preparação das frações)				Perda em massa (%)	Distribuição granulométrica (retido individual) (%)	Perda ponderada (%)
Passado		Retido				
(mm)		(mm)				
63,5	2 1/2"	50,8	2"	1,81	-	-
50,8	2"	38,1	1 1/2"			
38,1	1 1/2"	25,4	1"	0,92	-	-
25,4	1"	19,1	3/4"			
19,1	3/4"	12,7	1/2"	1,54	-	-
12,7	1/2"	9,5	3/8"			
9,5	3/8"	4,8	malha n.º 4	2,84	-	-
9,5	3/8"	4,8	malha n.º 4	1,61		
4,8	malha n.º 4	2,4	malha n.º 8	3,65	-	-
2,4	malha n.º 8	1,2	malha n.º 16	1,97	-	-
1,2	malha n.º 16	0,6	malha n.º 30	2,06	-	-
0,6	malha n.º 30	0,3	malha n.º 50	2,89	-	-
					TOTAL	-

Quadro 2b - Resultados da análise qualitativa do ensaio de sanidade da amostra 33268/1.

Abertura das peneiras (preparação das frações)		Número de fragmentos antes do ensaio	Fragmentos afetados por lascamento	
Passado (mm)	Retido (mm)		Número	%
63,5	50,8	7	0	0
50,8	38,1	15	1	7
38,1	25,4	24	0	0
25,4	19,1	43	1	2

Documento **RELATÓRIO DE ENSAIO**

Número **33268/138674**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.



Foto 3 – Fração granulométrica retida na peneira 25,4mm da amostra antes e após ser submetida ao ensaio de sanidade.

Amostra 33268/2

Os resultados da análise quantitativa são apresentados no Quadro 3a, enquanto no Quadro 3b são apresentados os resultados da análise qualitativa. A Foto 4 mostra uma fração granulométrica antes e após o ensaio.



Foto 4 – Fração granulométrica retida na peneira 25,4mm da amostra antes e após ser submetida ao ensaio de sanidade.

Documento **RELATÓRIO DE ENSAIO**Número **33268/138674**

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
 Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

Quadro 3a - Resultados da análise quantitativa da amostra 33268/2.

Quadro 3a - Resultados da análise quantitativa da amostra 5520072.

Abertura das peneiras (preparação das frações)				Perda em massa (%)	Distribuição granulométrica (retido individual) (%)	Perda ponderada (%)
Passado		Retido				
(mm)		(mm)				
63,5	2 1/2"	50,8	2"	0,72	-	-
50,8	2"	38,1	1 1/2"			
38,1	1 1/2"	25,4	1"	0,22	-	-
25,4	1"	19,1	3/4"			
19,1	3/4"	12,7	1/2"	0,22	-	-
12,7	1/2"	9,5	3/8"			
9,5	3/8"	4,8	malha n.º 4	0,63	-	-
9,5	3/8"	4,8	malha n.º 4	0,80		
4,8	malha n.º 4	2,4	malha n.º 8	3,72	-	-
2,4	malha n.º 8	1,2	malha n.º 16	2,35	-	-
1,2	malha n.º 16	0,6	malha n.º 30	4,59	-	-
0,6	malha n.º 30	0,3	malha n.º 50	6,89	-	-
				TOTAL		-

Quadro 3b - Resultados da análise qualitativa da amostra 33268/2.

Abertura das peneiras (preparação das frações)		Número de fragmentos antes do ensaio	Fragmentos Afetados	
Passado (mm)	Retido (mm)		Número	%
63,5	50,8	5	0	0
50,8	38,1	11	0	0
38,1	25,4	19	0	0
25,4	19,1	44	0	0

6/7



RELATÓRIO DE ENSAIO

33268/138674

Documento

Número

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e aplicam-se exclusivamente ao(s) item(ns) ensaiado(s) ou calibrado(s).
Este documento somente poderá ser publicado na íntegra.

3. Desgaste Los Angeles

Amostra 33268/1

Graduação: "A"

Resultado: 33%

Amostra 33268/2

Graduação: "A"

Resultado: 11%

4. Resistência ao esmagamento

Amostra 33268/1

Resistência ao esmagamento: 27%

Amostra 33268/2

Resistência ao esmagamento: 9%

5. Teor de argila em torrões e materiais friáveis

Amostra 33268/1

Resultado: Na amostra ensaiada **não foi constatada visualmente** a presença de torrões de argila ou partículas friáveis.

Amostra 33268/2

Resultado: Na amostra ensaiada **não foi constatada visualmente** a presença de torrões de argila ou partículas friáveis.


Observação:

As determinações de teor de argila em torrões e materiais friáveis foram feitas no Departamento de Materiais de Construção da CIENTEC, sob responsabilidade técnica da Engenheira Civil Ana Carolina Kamura de Lucca, CREA/RS nº 171.849.

Porto Alegre, 26 de janeiro de 2012.


Geol. Rodrigo Martins Saraiva
Gerente do Departamento de Geotecnia



Geol. João Alberto Fiorentini
Responsável Técnico CREA/RS 45899-D

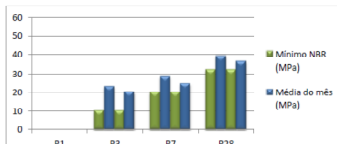

Eng. de Minas Ivone Maria Agostini
Coordenadora Laboratório de Mecânica e
Tecnologia de Rochas

7/7


Anexo 2


Laudo do cimento utilizado nos ensaios.

 Votorantim Cimentos UNIDADE IMBITUBA		Boletim de Qualidade do Produto Expedido																	
Atualizado em:		Produto: CPIV-32 Marca: Votoran				NBR 5736 Granel													
ENSAIOS QUÍMICOS										ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS									
Data de Produção	TEORES (%)				Finura(%)		Blaine	Água de consist.	Tempo Pega		Exp. Quente	Resist. à Compressão(MPa)							
	PF	MgO	SO ₃	RI	#200	#325	cm ² /g	(%)	Início (min)	Fim (min)	(mm)	3 Dias	7 Dias	28 Dias					
Limites de Norma	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	0	≤ 8,0	N/A	N/A	N/A	≥ 60	≤ 900	≤ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0 e 49,0					
01/01/2013																			
02/01/2013	3,00	4,67	2,61	30,24	0,18	3,36	4010	30,70	235	290	0,0	23,03	28,40	39,70					
03/01/2013	3,68	4,64	2,68	29,80	0,22	3,98	4400	30,90	230	280	0,0	24,50	28,66	39,10					
04/01/2013	3,35	4,50	2,77	30,37	0,27	3,58	4460	30,80	220	280	0,0	22,50	28,00	37,20					
05/01/2013	3,76	4,47	2,67	30,00	0,19	2,98	4760	30,90	230	290	0,0	21,80	27,60	36,70					
06/01/2013																			
07/01/2013	3,51	4,07	3,00	30,40	0,17	2,80	4460	30,80	235	295	0,0	21,56	27,10	38,2					
08/01/2013	3,19	4,75	2,61	30,26	0,17	2,34	4840	30,80	230	290	0,0	23,00	29,30	39,0					
09/01/2013																			
10/01/2013	3,78	4,59	2,96	27,80	0,10	2,70	4570	31,00	235	300	0,0	22,50	28,60	38,00					
11/01/2013	3,48	4,67	2,70	26,53	0,10	2,20	4430	31,20	240	300	0,0	23,60	28,30	36,90					
12/01/2013	3,50	4,75	2,68	26,36	0,33	2,34	4710	30,80	230	285	0,0	25,30	29,90	38,30					
13/01/2013																			
14/01/2013	3,20	4,71	2,55	27,60	0,20	2,40	4320	31,00	225	285	0,0	24,10	28,9	36,6					
15/01/2013	3,22	4,78	2,73	28,02	0,10	2,30	4400	30,60	230	290	0,0	25,80	29,70	39,80					
16/01/2013	3,40	4,73	2,64	27,49	0,10	2,30	4490	31,00	235	290	0,0	26,10	30,20	40,30					
17/01/2013	3,80	4,92	2,66	28,96	0,10	2,40	4760	31,10	245	290	0,0	23,40	27,90	39,40					
18/01/2013	3,70	4,86	2,65	28,50	0,10	2,40	4640	30,80	235	290	0,0	22,90	28,60	38,10					
19/01/2013	3,70	4,72	2,50	30,50	0,20	2,40	4760	30,90	240	300	0,0	23,20	28,10	39,00					
20/01/2013																			
21/01/2013	4,00	4,52	2,49	30,45	0,16	2,24	4840	30,80	240	300	0,0	23,00	28,00	38,10					
22/01/2013	3,27			29,70	0,20	2,10	4860	30,20	235	290	0,0	22,40	27,30	39,60					
23/01/2013	3,60	4,65	2,53	27,70	0,17	2,30	4680	31,10	235	290	0,0	23,40	28,60	40,50					
24/01/2013	3,70	4,72	2,48	28,70	0,10	2,40	4810	30,80	230	290	0,0	23,40	29,60	40,70					
25/01/2013	3,60	4,65	2,40	29,20	0,00	2,00	4690	30,20	240	310	0,0	23,00	28,30	39,70					
26/01/2013																			
27/01/2013																			
28/01/2013	3,80	4,58	2,57	28,50	0,35	2,60	4890	31,00	240	300	0,0	22,70	27,6	39,0					
29/01/2013	3,90	4,46	2,64	29,60	0,35	2,60	4990	31,20	245	310	0,0	23,30	27,70	40,4					
30/01/2013	3,90	4,55	2,54	28,30	0,33	2,70	4970	31,40	240	300	0,0	23,10	28,20	39,4					
31/01/2013	3,80	4,63	2,51	27,50	0,1	2,3	4840	31,2	250	310	0,0	22,3	27,70	38,2					
Média	3,58	4,63	2,64	28,85	0,18	2,56	4657,50	30,88	235,42	299,96	0,00	23,33	28,42	38,91					
Desvio Padrão	0,27	0,17	0,14	1,29	0,09	0,46	240,19	0,28	6,74	8,59	0,00	1,13	0,83	1,12					
Mínimo	3,00	4,07	2,40	26,36	0,00	2,00	4010,00	30,20	220,00	280,00	0,00	21,56	27,10	36,80					
Máximo	4,00	4,92	3,00	30,50	0,35	3,00	4990,00	31,40	250,00	310,00	0,00	26,10	30,20	40,70					



Observações:


Renata Pacheco Corrêa
 Responsável Controle de Qualidade
 Votorantim Cimentos S/A


Paulo Roberto Niebel
 Responsável Comercial
 Votorantim Cimentos S/A

Laudo cimento CPIV-32 Votoran - Unidade Imbituba SC - Janeiro 2013

Anexo 3

Tabelas de caracterização dos agregados graúdos após peneiramento em laboratório.

Tabela 25: Distribuição granulométrica Granito Cone

Granito Cone - Massa específica 2,67 kg/dm³								
Faixa Granulométrica	4,75 / 12,5		12,5 / 19		19 / 25		25 / 31,5	
Peneira mm	%		%		%		%	
	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum
25							100	100
19			0	0	96,89	96,89	0	100
12,5			87,04	87,04	2,97	99,86	0	100
9,5	52,23	52,23	12,53	99,57	0,09	99,95	0	100
6,3	33,89	86,12	0,18	99,75	0,05	100	0	100
4,75	12,98	99,10	0,06	99,82	0	100	0	100
2,36	0,81	9,91	0,02	99,83	0	100	0	100
Fundo	0,09	100	0,17	100	0	100	0	100

Tabela 26: Distribuição granulométrica Granito VSI

Granito VSI - Massa específica 2,67 kg/dm³								
Faixa Granulométrica	4,75 / 12,5		12,5 / 19		19 / 25		25 / 31,5	
Peneira mm	%		%		%		%	
	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum
25							100	100
19			0	0	97,16	97,16	0	100
12,5			90,2	90,20	2,70	99,86	0	100
9,5	34,77	34,77	9,19	99,38	0,12	99,99	0	100
6,3	38,55	73,32	0,52	99,90	0	99,99	0	100
4,75	23,74	97,06	0,02	99,92	0	99,99	0	100
2,36	1,24	98,29	0	99,92	0	99,99	0	100
Fundo	1,71	100	0,08	100	0	100	0	100

Tabela 27: Distribuição granulométrica Basalto Cone

Basalto Cone - Massa específica 2,98 kg/dm³								
Faixa Granulométrica	4,75 / 12,5		12,5 / 19		19 / 25		25 / 31,5	
Peneira mm	%		%		%		%	
	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum
25							100	100
19			0	0	90,27	90,27	0	100
12,5			87,50	87,50	9,06	99,34	0	100
9,5	45,41	45,41	11,84	99,33	0,63	99,97	0	100
6,3	36,88	82,28	0,57	99,90	0	99,97	0	100
4,75	16,24	98,52	0,04	99,95	0	99,97	0	100
2,36	1,04	99,56	0,02	99,96	0	99,97	0	100
Fundo	0,44	100	0,04	100	0,03	100	0	100

Tabela 28: Distribuição granulométrica Basalto VSI

Basalto VSI - Massa específica 2,98 kg/dm³								
Faixa Granulométrica	4,75 / 12,5		12,5 / 19		19 / 25		25 / 31,5	
Peneira mm	%		%		%		%	
	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum	Retida	Acum
25							100	100
19			0	0	97,82	97,82	0	100
12,5			80,46	80,46	2,17	99,99	0	100
9,5	39,73	39,73	18,64	99,10	0	99,99	0	100
6,3	38,38	78,11	0,83	99,93	0	99,99	0	100
4,75	19,43	97,54	0,06	99,98	0	99,99	0	100
2,36	1,27	98,81	0	99,98	0	99,99	0	100
Fundo	1,19	100	0,02	100	0,01	100	0	100

Anexo 4

Tabelas de caracterização das areias

Tabela 29: Caracterização areia de britagem

Areia de britagem			
Peneira mm	%		Módulo de finura 2,84
	Retida	Acumulada	Diâmetro máximo 4,75 mm
4,75	1	1	
2,36	16	17	
1,18	27	44	Massa específica 2,67 kg/dm ³
0,6	18	62	
0,3	13	75	
0,15	11	86	Material pulverulento 8,38 %
0,075	5	92	
Fundo	8	100	

Tabela 30: Caracterização areia fina

Areia fina			
Peneira mm	%		Módulo de finura 1,00
	Retida	Acumulada	Diâmetro máximo 0,6 mm
4,75			
2,36			
1,18			Massa específica 2,65 kg/dm ³
0,6			
0,3	9	9	
0,15	83	92	Material pulverulento 0 %
0,075	8	100	
Fundo	0	100	

Anexo 5

Tabelas resumo dos ensaios.

Composições graníticas.

Tabela 31: Resumo dos ensaios das composições graníticas 0% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	0% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		G1 (100/0)	G2 (75/25)	G3 (50/50)	G4 (25/75)	G5 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0
	12,5	70	68	66	65	63
	9,5	90	88	85	83	80
	6,3	97	96	94	93	92
	4,75	100	100	99	99	99
	2,36	100	100	100	100	99
	Fundo	100	100	100	100	100
CF		2,9	2,6	2,3	2,1	1,8
PC _b		24%	38%	52%	66%	80%
MF		6,90	6,87	6,84	6,81	6,78
Dmáx (mm)		19	19	19	19	19
MUC (Kg/dm ³)		1,5	1,49	1,5	1,52	1,56
Abatimento (cm)		12	13	11,5	11,5	12
Slump invertido (s)		4,81	2,99	7,11	8,44	3,66
CP (Mpa)		24,2	27,1	21,8	23	25,7
		22,8	26,7	21,5	21,8	21,6

Continua

Continuação

Caixa I (s)	64,29	64,00	65,59	57,09	37,05
Água (L)	168	164	173	169	169
H (%)	7,62	7,45	7,83	7,66	7,65
a/c	0,6	0,59	0,62	0,6	0,6
Vazios (%)	43,82	44,19	43,82	43,07	41,57
ME (Kg/m³)	2388	2376	2388	2373	2400
ar (%)	2,29	2,99	2	2,83	1,75

Tabela 32: Resumo dos ensaios das composições gráficas 5% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	5% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		G6 (100/0)	G7 (75/25)	G8 (50/50)	G9 (25/75)	G10 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	4	3	3	2	2
	12,5	70	62	53	45	36
	9,5	90	83	75	68	61
	6,3	97	94	90	87	84
	4,75	100	99	99	99	98
	2,36	100	100	99	99	99
	Fundo	100	100	100	100	100
	CF	2,9	2,6	2,3	2,1	1,8
	PCb	24%	37%	50%	63%	75%
	MF	6,94	6,85	6,77	6,68	6,60

Continua

Continuação

Dmáx (mm)	19	19	19	19	19
MUC (Kg/dm ³)	1,46	1,46	1,52	1,54	1,57
Abatimento (cm)	11,5	11	11,5	12	11
Slump invertido (s)	8,2	3,63	11,45	5,78	6,72
CP (Mpa)	22,4	22,7	24,2	28,7	23,2
	18,8	22,4	24,1	26	21,8
Caixa I (s)	71,72	75,23	62,54	54,50	57,50
Água (L)	174	167	168	168	179
H (%)	7,88	7,58	7,62	7,6	8,12
a/c	0,62	0,6	0,6	0,6	0,64
Vazios (%)	45,32	45,32	43,07	42,32	41,20
ME (Kg/m ³)	2379	2391	2400	2406	2382
ar (%)	2,3	2,21	1,79	1,58	1,87

Tabela 33: Resumo dos ensaios das composições graníticas 10% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	10% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		G11 (100/0)	G12 (75/25)	G13 (50/50)	G14 (25/75)	G15 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	8	7	7	6	6
	12,5	71	67	63	59	55
	9,5	90	86	82	78	74
	6,3	97	95	93	91	89
	4,75	100	99	99	99	99
	2,36	100	100	100	99	99
	Fundo	100	100	100	100	100
CF		2,9	2,6	2,3	2,1	1,8
PCb		25%	38%	52%	65%	79%
MF		6,97	6,92	6,87	6,82	6,77
Dmáx (mm)		25	25	25	25	25
MUC (Kg/dm ³)		1,49	1,46	1,49	1,54	1,6
Abatimento (cm)		11,5	11	13	12,5	12,5
Slump invertido (s)				6,9	5,36	4,81
CP (Mpa)		26,7	24,6	26	25,9	25,1
		24,3	23,5	24,7	22,2	22,7
Caixa I (s)		79,02	89,87	90,08	50,81	51,99
Água (L)		169	166	175	168	168
H (%)		7,68	7,55	7,93	7,63	7,62

Continua

Continuação

a/c	0,6	0,59	0,62	0,6	0,6
Vazios (%)	44,19	45,32	44,19	42,32	40,07
ME (Kg/m³)	2400	2424	2347	2400	2388
ar (%)	1,71	0,92	3,58	1,79	2,29

Tabela 34: Resumo dos ensaios das composições graníticas 15% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	15% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		G16 (100/0)	G17 (75/25)	G18 (50/50)	G19 (25/75)	G20 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	10	9	8	7	6
	12,5	62	56	49	43	37
	9,5	85	79	73	67	61
	6,3	96	93	90	87	84
	4,75	100	99	99	99	98
	2,36	100	100	99	99	99
	Fundo	100	100	100	100	100
CF		2,9	2,6	2,4	2,1	1,8
PCb		23%	36%	49%	62%	75%
MF		6,95	6,87	6,79	6,71	6,64
Dmáx (mm)		25	25	25	25	25
MUC (Kg/dm³)		1,44	1,49	1,55	1,54	1,58
Abatimento (cm)		11	11	12,5	11	11

Continua

Continuação

Slump invertido (s)		9,02	3,4	6,32	17,05
CP (Mpa)	24,2	25,3	30,1	26,4	29,2
	23,1	21,1	29,7	22,8	23,9
Caixa I (s)	82,00	74,00	67,00	56,05	37,38
Água (L)	179	178	172	168	169
H (%)	8,12	8,08	7,8	7,64	7,67
a/c	0,64	0,64	0,61	0,6	0,6
Vazios (%)	46,07	44,19	41,95	42,32	40,82
ME (Kg/m ³)	2382	2385	2394	2400	2394
ar (%)	1,87	1,81	1,8	1,77	1,97

Tabela 35: Resumo dos ensaios das composições graníticas 15% retido peneira 19mm / 5% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	15% retido #19mm / 5% retido #25mm				
		G21 (100/0)	G22 (75/25)	G23 (50/50)	G24 (25/75)	G25 (0/100)
	25	4	3	3	3	3
	19	14	13	12	11	10
	12,5	63	59	54	50	46
	9,5	85	81	76	72	67
	6,3	96	93	91	89	87
	4,75	100	99	99	99	98
	2,36	100	100	99	99	99
	Fundo	100	100	100	100	100

Continua

Continuação

CF	2,9	2,6	2,4	2,1	1,8
PCb	24%	37%	50%	64%	77%
MF	6,99	6,93	6,87	6,81	6,75
Dmáx (mm)	25	25	25	25	25
MUC (Kg/dm³)	1,47	1,52	1,51	1,59	1,6
Abatimento (cm)	11,5	11,5	12	12,5	11,5
Slump invertido (s)	5,05			7,55	7,83
CP (Mpa)	23,3	24,9	27,2	26,2	30,9
	21,6	24,7	25,8	22,3	28,3
Caixa I (s)	90,00	80,38	90,00	50,84	60,00
Água (L)	166	175	163	170	168
H (%)	7,55	7,95	7,38	7,72	7,62
a/c	0,59	0,63	0,58	0,61	0,6
Vazios (%)	44,94	43,07	43,45	40,45	40,07
ME (Kg/m³)	2412	2388	2376	2361	2376
ar (%)	1,41	1,85	3,07	3,24	2,76

Composições Basálticas.

Tabela 36: Resumo dos ensaios das composições basálticas 0% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	0% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		B1 (100/0)	B2 (75/25)	B3 (50/50)	B4 (25/75)	B5 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0
	12,5	53	57	62	67	72
	9,5	78	82	85	89	93
	6,3	93	94	95	97	98
	4,75	99	99	100	100	100
	2,36	100	100	100	100	100
	Fundo	100	100	100	100	100
CF		3,8	3,3	2,9	2,4	2,0
PCb		18%	34%	50%	66%	82%
MF		6,77	6,81	6,85	6,89	6,93
Dmáx (mm)		19	19	19	19	19
MUC (Kg/dm³)		1,54	1,61	1,66	1,69	1,73
Abatimento (cm)		11,5	11,5	11	12	12,5
Slump invertido (s)		16,07				
CP (Mpa)		21,5	29,1	28,8	22,2	21,4
		21,1	24,8	19,3	22	20,4
Caixa I (s)		57,26	65,62	46,74	45,67	48,93
Água (L)		174	175	168	170	173

Continua

Continuação

H (%)	7,48	7,55	7,24	7,32	7,47
a/c	0,62	0,63	0,6	0,61	0,62
Vazios (%)	48,32	45,97	44,30	43,29	41,95
ME (Kg/m³)	2513	2507	2501	2519	2521
ar (%)	1,81	1,95	2,62	1,81	1,48

Tabela 37: Resumo dos ensaios das composições basálticas 5% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	5% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		B6 (100/0)	B7 (75/25)	B8 (50/50)	B9 (25/75)	B10 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	3	3	4	4	4
	12,5	62	63	63	64	65
	9,5	83	84	85	86	87
	6,3	95	95	95	95	96
	4,75	100	100	100	99	99
	2,36	100	100	100	100	100
	Fundo	100	100	100	100	100
	CF	3,7	3,3	2,9	2,4	2,0
	PCb	20%	34%	49%	64%	79%
	MF	6,86	6,87	6,88	6,89	6,90
	Dmáx (mm)	19	19	19	19	19
	MUC (Kg/dm³)	1,56	1,59	1,64	1,7	1,77

Continua

Continuação

Abatimento (cm)	12	12,5	11	11,5	12
Slump invertido (s)			7,45	8,47	3,78
CP (Mpa)	20,6	24,6	19,6	21,9	23,4
	18,8	23,2	17,9	20	19,8
Caixa I (s)	49,56	60,00	32,80	56,02	39,97
Água (L)	181	166	173	165	167
H (%)	7,82	7,16	7,47	7,11	7,19
a/c	0,65	0,59	0,62	0,59	0,6
Vazios (%)	47,65	46,64	44,97	42,95	40,60
ME (Kg/m ³)	2483	2495	2521	2560	2519
ar (%)	2,49	2,96	1,47	0,5	2

Tabela 38: Resumo dos ensaios das composições basálticas 10% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	10% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		B11 (100/0)	B12 (75/25)	B13 (50/50)	B14 (25/75)	B15 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	5	5	6	6	7
	12,5	44	48	51	54	58
	9,5	72	75	77	79	81
	6,3	91	92	92	93	93
	4,75	99	99	99	99	99
	2,36	100	100	100	100	100
	Fundo	100	100	100	100	100

Continuação

CF	3,7	3,3	2,9	2,4	2,0
PCb	17%	32%	46%	61%	76%
MF	6,76	6,79	6,81	6,84	6,87
Dmáx (mm)	19	19	25	25	25
MUC (Kg/dm³)	1,57	1,62	1,69	1,72	1,77
Abatimento (cm)	11,5	11,5	11	12	11
Slump invertido (s)		5,53		8,04	5,44
CP (Mpa)	21,8	24,2	18,6	24,3	24,2
	19,4	20,4	18,4	19,5	24,2
Caixa I (s)	64,90	51,39	61,75	44,32	36,96
Água (L)	176	175	179	170	165
H (%)	7,59	7,56	7,71	7,32	7,12
a/c	0,63	0,63	0,64	0,61	0,59
Vazios (%)	47,32	45,64	43,29	42,28	40,60
ME (Kg/m³)	2495	2486	2548	2519	2554
ar (%)	2,36	2,75	0,09	1,82	0,72

Tabela 39: Resumo dos ensaios das composições basálticas 15% retido peneira 19mm / 0% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	15% retido #19mm / 0% retido #25mm				
		B16 (100/0)	B17 (75/25)	B18 (50/50)	B19 (25/75)	B20 (0/100)
	25	0	0	0	0	0
	19	8	10	11	13	15
	12,5	54	61	69	76	83
	9,5	78	83	89	94	99
	6,3	93	95	96	98	100
	4,75	99	100	100	100	100
	2,36	100	100	100	100	100
	Fundo	100	100	100	100	100
CF		3,7	3,3	2,8	2,4	2,0
PCb		19%	35%	50%	66%	82%
MF		6,85	6,92	6,99	7,07	7,14
Dmáx (mm)		25	25	25	25	25
MUC (Kg/dm³)		1,6	1,63	1,66	1,71	1,73
Abatimento (cm)		11,5	11	13	12,5	11
Slump invertido (s)					6,69	7,94
CP (Mpa)		20,6	23,9	22,4	24,5	22,3
		20	21,1	20,6	22,2	19,1
Caixa I (s)		64,36	54,30	55,63	58,59	38,44
Água (L)		171	173	170	169	182
H (%)		7,36	7,46	7,32	7,3	7,83

Continua

Continuação

a/c	0,61	0,62	0,61	0,61	0,65
Vazios (%)	46,31	45,30	44,30	42,62	41,95
ME (Kg/m³)	2524	2495	2507	2489	2471
ar (%)	1,52	2,54	2,28	2,99	2,95

Tabela 40: Resumo dos ensaios das composições basálticas 15% retido peneira 19mm / 5% retido peneira 25mm.

Porcentagem retida acumulada	Peneira mm	15% retido #19mm / 5% retido #25mm				
		B21 (100/0)	B22 (75/25)	B23 (50/50)	B24 (25/75)	B25 (0/100)
	25	4	4	4	4	4
	19	15	15	14	14	14
	12,5	72	69	66	62	59
	9,5	89	87	85	83	81
	6,3	96	96	95	94	93
	4,75	100	100	99	99	99
	2,36	100	100	100	100	100
	Fundo	100	100	100	100	100
CF		3,6	3,2	2,8	2,4	2,0
PCb		23%	35%	48%	60%	73%
MF		7,03	7,01	6,99	6,96	6,94
Dmáx (mm)		25	25	25	25	25
MUC (Kg/dm³)		1,57	1,62	1,64	1,74	1,76
Abatimento (cm)		12	11,5	11,5	13	11

Continua

Continuação

Slump invertido (s)	13,93	6,44		7,19	13,75
CP (Mpa)	19,1	22	24,1	23,4	24,2
	18	21,6	23,6	22,1	19,9
Caixa I (s)	71,84	78,23	72,72	52,01	43,66
Água (L)	168	171	167	170	165
H (%)	7,22	7,39	7,18	7,31	7,13
a/c	0,60	0,61	0,6	0,61	0,59
Vazios (%)	47,32	45,64	44,97	41,61	40,94
ME (Kg/m³)	2498	2513	2519	2791	2489
ar (%)	2,76	1,94	2,01	2,75	3,35

Anexo 6

Tabela resumo dos ensaios de forma.

Tabela 41: Resumo dos ensaios de forma.

Método			Paquímetro				Placa / Gabarito			
Origem geológica	Britador	Faixa granulométrica	ABNT NBR 7809:2008	ABNT NBR 5564:2011			BS 812: Section 105.1:1989	↔		BS 812: Section 105.2:1990
			COEFICIENTE DE FORMA	% CÚBICA	% ALONGADA	% LAMELAR	% ALONGADA-LAMELAR	% PARTÍCULAS LAMELARES (EM MASSA)	% PARTÍCULAS ALONGADAS (EM MASSA)	% PARTÍCULAS ALONGADAS-LAMELARES (EM MASSA)

Continua

BASALTO	CONE	4,75 - 6,3	3,15	45,00%	14,50%	38,00%	2,50%	40,79%	76,03%	31,43%	14,60%
		6,3 - 9,5	3,66	32,50%	13,50%	52,00%	2,00%	48,20%	64,14%	25,43%	13,09%
		9,5 - 12,5	3,98	20,00%	11,00%	62,50%	6,50%	73,56%	69,78%	50,37%	7,03%
		12,5 - 19,0	3,77	33,00%	9,00%	53,50%	4,50%	44,50%	55,08%	22,79%	23,21%
		19,0 - 25,0	3,17	47,00%	4,00%	48,50%	0,50%	33,08%	53,02%	17,10%	31,01%
		25,0 - 31,5	2,74	54,50%	1,50%	43,50%	0,50%	40,78%	15,29%	5,29%	49,22%
	VSI	4,75 - 6,3	2,18	81,00%	3,00%	16,00%	0,00%	8,65%	37,26%	2,83%	54,09%
		6,3 - 9,5	2,13	87,00%	1,50%	11,50%	0,00%	16,25%	22,18%	1,71%	63,28%
		9,5 - 12,5	1,98	93,00%	0,00%	7,00%	0,00%	24,06%	22,68%	4,76%	58,01%
		12,5 - 19,0	1,95	90,50%	1,00%	8,50%	0,00%	8,28%	7,63%	0,00%	84,09%
		19,0 - 25,0	2,22	77,50%	0,00%	22,50%	0,00%	25,95%	4,89%	0,67%	69,84%
		25,0 - 31,5	2,78	22,00%	0,00%	78,00%	0,00%	84,27%	5,34%	4,55%	14,94%
GRANITO	CONE	4,75 - 6,3	3,15	45,00%	14,50%	38,00%	2,50%	25,32%	82,44%	20,09%	12,34%
		6,3 - 9,5	3,25	37,50%	11,00%	50,00%	1,50%	50,87%	69,74%	31,26%	10,65%
		9,5 - 12,5	3,11	48,00%	15,50%	35,00%	1,50%	53,63%	74,41%	40,58%	12,54%
		12,5 - 19,0	2,80	58,00%	7,00%	34,50%	0,50%	23,79%	63,73%	14,53%	26,99%
		19,0 - 25,0	2,74	63,00%	6,00%	30,50%	0,50%	21,64%	54,11%	9,72%	33,98%
		25,0 - 31,5	2,66	64,50%	7,00%	27,50%	1,00%	21,66%	48,27%	13,07%	43,13%
	VSI	4,75 - 6,3	1,87	95,00%	1,50%	3,50%	0,00%	0,78%	35,89%	0,00%	63,32%
		6,3 - 9,5	1,90	93,00%	0,00%	7,00%	0,00%	14,83%	15,49%	0,89%	70,58%
		9,5 - 12,5	1,77	98,50%	0,00%	1,50%	0,00%	14,83%	15,49%	0,09%	70,52%
		12,5 - 19,0	1,78	96,50%	1,00%	2,50%	0,00%	1,48%	13,72%	0,00%	84,84%
		19,0 - 25,0	1,80	97,00%	0,00%	3,00%	0,00%	0,91%	10,84%	0,00%	88,25%
		25,0 - 31,5	1,76	95,50%	0,50%	4,00%	0,00%	3,03%	5,64%	0,00%	91,33%

Anexo 7

Tabelas de dados de ensaios e cálculos de concreto.

Composições graníticas.

Tabela 42: Dados de ensaio dos concretos graníticos.

TRAÇO	DATA	M.U.C (Kg/dm ³)	SLUMP (cm)	SLUMP INVERSO (s)	ME (Kg/m ³)	CAIXA (s)	MATERIAL RETIDO NA CAIXA (g)		ÁGUA QUE SOBROU (g)	Água do traço (L)	H real (%)	a/c
							CONCRETO	BRITA				
G1	16/jul	1,50	12	4:81	2388	64,29	0,0	0	223,8	168	7,62	0,60
G2	17/jul	1,49	13	2:99	2376	64,00	313,0	234,0	297,4	164	7,45	0,59
G3	17/jul	1,50	11,5	7:11	2388	65,59	0,0	0,0	127,4	173	7,83	0,62
G4	16/jul	1,52	11,5	8:44	2373	57,09	0,0	0,0	202,1	169	7,66	0,60
G5	17/jul	1,56	12	3:66	2400	37,05	0,0	0,0	207,4	169	7,65	0,60
G6	16/jul	1,46	11,5	8:20	2379	71,72	46,5	41,3	105,1	174	7,88	0,62
G7	17/jul	1,46	11	3:63	2391	65,23	0,0	0,0	238,0	167	7,58	0,60

Continua

Continuação

G8	17/jul	1,52	11,5	11:45	2400	62,54	57,5	50,5	219,6	168	7,62	0,60
G9	16/jul	1,54	12	5:78	2406	54,50	0,0	0	229,7	168	7,60	0,60
G10	17/jul	1,57	11	6:72	2382	57,05	0,0	0,0	0,0	179	8,12	0,64
G11	16/jul	1,49	11,5	NÃO	2400	79,02	0,0	0,0	193,2	169	7,68	0,60
G12	16/jul	1,46	11	NÃO	2424	89,87	63,0	53,8	253,7	166	7,55	0,59
G13	16/jul	1,49	13	6:90	2347	90,00	0,0	0,0	83,8	175	7,93	0,62
G14	17/jul	1,54	12,5	5:36	2400	50,81	70,8	63,5	218,1	168	7,63	0,60
G15	15/jul	1,60	12,5	4:81	2388	51,99	0,0	0,0	223,8	168	7,62	0,60
G16	17/jul	1,44	11	NÃO	2382	82,00	30,2	27,6	0,0	179	8,12	0,64
G17	15/jul	1,49	11	9:02	2385	74,00	0,0	0,0	21,1	178	8,08	0,64
G18	15/jul	1,55	12,5	3:40	2394	67,00	0,0	0,0	140,2	172	7,80	0,61
G19	17/jul	1,54	11	6:32	2400	56,05	0,0	0,0	212,0	168	7,64	0,60
G20	17/jul	1,58	11	17:05	2394	37,38	0,0	0,0	198,0	169	7,67	0,60
G21	16/jul	1,47	11,5	5:05	2412	90,00	925,4	692,4	253,7	166	7,55	0,59
G22	16/jul	1,52	11,5	NÃO	2388	80,38	135,3	117	76,0	175	7,95	0,63
G23	15/jul	1,51	12	NÃO	2376	90,00	259,8	-	325,3	163	7,38	0,58

Continua

Continuação

G24	16/jul	1,59	12,5	7:55	2361	50,84	58,5	55,5	176,5	170	7,72	0,61
G25	15/jul	1,60	11,5	7:83	2376	60,00	103,2	-	221,0	168	7,62	0,60

Tabela 43: Cálculos dos concretos graníticos.

Traço	a/c	c	a	b	x	Volume traço	vteórico	Ar incorporado
G1	0,60	282	894	1043	169	977,1	2444	2,29
G2	0,59	281	891	1040	165	970,1	2450	2,99
G3	0,62	281	892	1041	173	980,0	2437	2,00
G4	0,60	280	888	1036	169	971,7	2442	2,83
G5	0,60	283	898	1048	171	982,5	2443	1,75
G6	0,62	280	888	1037	174	977,0	2435	2,30
G7	0,60	282	895	1045	169	977,9	2445	2,21
G8	0,60	283	898	1048	170	982,1	2444	1,79
G9	0,60	284	901	1051	170	984,2	2445	1,58
G10	0,64	280	887	1036	179	981,3	2428	1,87
G11	0,60	283	898	1048	171	982,9	2442	1,71

Continua

Continuação

G12	0,59	286	908	1060	170	990,8	2446	0,92
G13	0,62	276	876	1022	172	964,2	2434	3,58
G14	0,60	283	898	1048	170	982,1	2444	1,79
G15	0,60	282	894	1043	169	977,1	2444	2,29
G16	0,64	280	887	1036	179	981,3	2428	1,87
G17	0,64	280	889	1038	178	981,9	2429	1,81
G18	0,61	282	895	1044	173	982,0	2438	1,80
G19	0,60	283	898	1048	170	982,3	2443	1,77
G20	0,60	283	896	1045	171	980,3	2442	1,97
G21	0,59	285	903	1054	169	985,9	2446	1,41
G22	0,63	281	891	1040	176	981,5	2433	1,85
G23	0,58	281	891	1040	163	969,3	2452	3,07
G24	0,61	279	883	1031	169	967,6	2441	3,24
G25	0,60	281	889	1038	168	972,4	2444	2,76

Composições basálticas.

Tabela 44: Dados de ensaio dos concretos basálticos.

TRAÇO	DATA	M.U.C (Kg/dm ³)	SLUMP (cm)	SLUMP INVERT. (s)	ME (Kg/m ³)	CAIXA (s)	MATERIAL RETIDO NA CAIXA (g)		ÁGUA QUE SOBROU (g)	Água do traço (L)	H real (%)	a/c
							CONCRETO	BRITA				
B1	19/jul	1,54	11,5	16:07	2513	57,26	0,0	0	110,4	174	7,48	0,62
B2	18/jul	1,61	11,5	NÃO	2507	65,62	0,0	0,0	79,0	175	7,55	0,63
B3	18/jul	1,66	11	NÃO	2501	46,74	0,0	0,0	225,2	168	7,24	0,60
B4	18/jul	1,69	12	NÃO	2519	45,67	0,0	0,0	187,2	170	7,32	0,61
B5	18/jul	1,73	12,5	NÃO	2521	48,93	0,0	0,0	114,3	173	7,47	0,62
B6	18/jul	1,56	12	NÃO	2483	49,56	0,0	0,0	-51,6	181	7,82	0,65
B7	18/jul	1,59	12,5	NÃO	2495	60,00	0,0	0,0	261,2	166	7,16	0,59
B8	18/jul	1,64	11	7:45	2521	32,80	0,0	0,0	113,6	173	7,47	0,62
B9	19/jul	1,70	11,5	8:47	2560	56,02	96,9	84,9	286,3	165	7,11	0,59
B10	19/jul	1,77	12	3:78	2519	39,97	0,0	0,0	249,0	167	7,19	0,60
B11	18/jul	1,57	11,5	NÃO	2495	64,90	0,0	0,0	60,9	176	7,59	0,63

Continua

Continuação

B12	19/jul	1,62	11,5	5:53	2486	51,39	0,0	0,0	74,3	175	7,56	0,63
B13	18/jul	1,69	11	NÃO	2548	61,75	0,0	0,0	0,0	179	7,71	0,64
B14	19/jul	1,72	12	8:04	2519	0:44:32	0,0	0,0	189,2	170	7,32	0,61
B15	19/jul	1,77	11	5:44	2554	36,96	0,0	0,0	284,1	165	7,12	0,59
B16	19/jul	1,60	11,5	NÃO	2524	64,36	0,0	0,0	166,3	171	7,36	0,61
B17	18/jul	1,63	11	NÃO	2495	54,30	0,0	0,0	121,4	173	7,46	0,62
B18	19/jul	1,66	13	NÃO	2507	55,63	0,0	0,0	189,0	170	7,32	0,61
B19	19/jul	1,71	12,5	6:69	2489	58,59	0,0	0,0	195,6	169	7,30	0,61
B20	19/jul	1,73	11	7:94	2471	38,40	0,0	0,0	-54,4	182	7,83	0,65
B21	19/jul	1,57	12	13:93	2498	71,84	89,1	80,4	233,5	168	7,22	0,60
B22	19/jul	1,62	11,5	6:44	2513	78,23	69,1	66	153,4	171	7,39	0,61
B23	19/jul	1,64	11,5	NÃO	2519	72,72	242,0	178,9	253,3	167	7,18	0,60
B24	19/jul	1,74	13	7:19	2495	52,01	0,0	0,0	190,3	170	7,31	0,61
B25	19/jul	1,76	11	13:75	2486	43,66	0,0	0,0	277,9	165	7,13	0,59

Tabela 45: Cálculos dos concretos basálticos.

Traço	a/c	c	a	b	x	Volume traço	vteórico	Ar incorporado
B1	0,62	282	916	1139	175	981,9	2559	1,81
B2	0,63	281	914	1136	176	980,5	2557	1,95
B3	0,60	281	914	1136	169	973,8	2568	2,62
B4	0,61	283	920	1144	172	981,9	2565	1,81
B5	0,62	283	920	1143	175	985,2	2559	1,48
B6	0,65	278	903	1122	180	975,1	2546	2,49
B7	0,59	281	913	1135	167	970,4	2571	2,96
B8	0,62	283	920	1143	175	985,3	2559	1,47
B9	0,59	288	937	1165	170	995,0	2573	0,50
B10	0,60	283	921	1145	169	980,0	2570	2,00
B11	0,63	280	909	1130	176	976,4	2555	2,36
B12	0,63	279	906	1126	175	972,5	2556	2,75
B13	0,64	285	927	1153	182	999,1	2550	0,09
B14	0,61	283	920	1144	172	981,8	2565	1,82

Continua

Continuação

B15	0,59	288	935	1162	170	992,8	2573	0,72
B16	0,61	284	922	1146	173	984,8	2563	1,52
B17	0,62	280	910	1131	173	974,6	2560	2,54
B18	0,61	282	916	1138	171	977,2	2565	2,28
B19	0,61	280	909	1130	169	970,1	2566	2,99
B20	0,65	276	898	1117	179	970,5	2546	2,95
B21	0,60	281	913	1135	168	972,4	2569	2,76
B22	0,61	282	917	1140	173	980,6	2562	1,94
B23	0,60	283	921	1145	169	979,9	2570	2,01
B24	0,61	280	911	1133	170	972,5	2565	2,75
B25	0,59	280	910	1131	165	966,5	2572	3,35

Anexo 8

Tabelas de traço pelo método ABCP/ACI.

Composições graníticas.

Tabela 46: Cálculo de traços pelo método ABCP/ACI das composições graníticas.

Traço	DMC (mm)	Massa Unitária (Kg/dm ³)	Vc ag. gr. ACI (litros)	Peso de ag. Graúdo (Kg)	V. de pedra (L)	V arg. (L)	V arg seco (L)	V arg seco s/ ar (L)	V areia (L)	Massa de areia (kg)
G1	19	1,50	740	1109	415,32	584,68	415,69	392,81	292,11	777,28
G2	19	1,49	740	1100	411,99	588,01	423,28	393,37	293,01	779,69
G3	19	1,50	740	1112	416,42	583,58	410,08	390,07	289,56	770,52
G4	19	1,52	740	1125	421,41	578,59	409,64	381,34	281,31	748,54
G5	19	1,56	740	1152	431,37	568,63	398,02	380,48	279,31	743,24
G6	19	1,46	740	1084	405,90	594,10	420,21	397,21	297,13	790,65
G7	19	1,46	740	1084	405,90	594,10	425,56	403,47	302,61	805,23
G8	19	1,52	740	1124	420,85	579,15	409,12	391,21	290,02	771,72
G9	19	1,54	740	1143	428,05	571,95	401,97	386,19	284,72	757,64
G10	19	1,57	740	1161	434,70	565,30	386,33	367,64	267,66	712,22

Continua

Continuação

G11	25	1,49	765	1142	427,63	572,37	401,10	383,99	282,85	752,64
G12	25	1,46	765	1119	419,04	580,96	410,87	401,63	299,36	796,60
G13	25	1,49	765	1143	428,20	571,80	399,32	363,55	264,89	704,85
G14	25	1,54	765	1178	441,37	558,63	388,53	370,67	269,48	717,07
G15	25	1,60	765	1223	457,97	542,03	373,04	350,16	249,45	663,78
G16	25	1,44	765	1102	412,74	587,26	408,28	389,59	289,61	770,63
G17	25	1,49	765	1143	428,20	571,80	393,58	375,49	275,34	732,66
G18	25	1,55	765	1186	444,23	555,77	382,44	364,48	263,70	701,69
G19	25	1,54	765	1182	442,51	557,49	387,10	369,42	268,24	713,78
G20	25	1,58	765	1211	453,39	546,61	375,99	356,30	255,40	679,61
G21	25	1,47	765	1125	421,33	578,67	409,41	395,33	293,56	781,16
G22	25	1,52	765	1162	435,07	564,93	389,04	370,55	270,15	718,87
G23	25	1,51	765	1156	432,78	567,22	403,80	373,06	272,64	725,48
G24	25	1,59	765	1218	456,25	543,75	374,45	342,06	242,57	645,48
G25	25	1,60	765	1227	459,69	540,31	372,03	344,38	244,18	649,76

Tabela 47: Tabela de traços pelo método da ABCP/ACI das composições graníticas.

Traço ABCP/ACI								
Traço	CIMENTO (kg)	AREIA NATURAL (kg)	AREIA DE BRITAGEM (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (kg)	Teor arg. (%)	a/c	ar (L)
G1	282	349,54	427,74	1108,89	169	48,9	0,60	22,9
G2	281	350,63	429,07	1100,02	165	49,1	0,59	29,9
G3	281	346,50	424,02	1111,85	173	48,6	0,62	20,0
G4	280	336,62	411,93	1125,15	169	47,8	0,60	28,3
G5	283	334,23	409,01	1151,77	171	47,1	0,60	17,5
G6	280	355,55	435,09	1083,76	174	49,7	0,62	23,0
G7	282	362,11	443,12	1083,76	169	50,1	0,60	22,1
G8	283	347,04	424,68	1123,68	170	48,4	0,60	17,9
G9	284	340,71	416,93	1142,90	170	47,7	0,60	15,8
G10	280	320,28	391,94	1160,64	179	46,1	0,64	18,7
G11	283	338,46	414,18	1141,77	171	47,6	0,60	17,1
G12	286	358,23	438,37	1118,84	170	49,2	0,59	9,2
G13	276	316,97	387,88	1143,30	172	46,2	0,62	35,8

Continua

Continuação

G14	283	322,47	394,61	1178,45	170	45,9	0,60	17,9
G15	282	298,50	365,28	1222,78	169	43,6	0,60	22,9
G16	280	346,55	424,08	1102,03	179	48,8	0,64	18,7
G17	280	329,47	403,18	1143,30	178	47,0	0,64	18,1
G18	282	315,55	386,14	1186,09	173	45,3	0,61	18,0
G19	283	320,99	392,80	1181,51	170	45,8	0,60	17,7
G20	283	305,62	373,99	1210,55	171	44,3	0,60	19,7
G21	285	351,28	429,87	1124,96	169	48,7	0,59	14,1
G22	281	323,27	395,59	1161,64	176	46,3	0,63	18,5
G23	281	326,25	399,24	1155,52	163	46,6	0,58	30,7
G24	279	290,27	355,21	1218,19	169	43,1	0,61	32,4
G25	281	292,20	357,57	1227,36	168	43,1	0,60	27,6

Composições Basálticas.

Tabela 48: Cálculo de traços pelo método ABCP/ACI das composições basálticas.

Traço	DMC (mm)	Massa Unitária (Kg/dm ³)	Vc ag. gr. ACI (litros)	Peso de ag. Graúdo (Kg)	V. de pedra (L)	V arg. (L)	V arg seco (L)	V arg seco s/ ar (L)	V areia (L)	Massa de areia (kg)
B1	19	1,54	740	1143	383,52	616,48	441,58	423,46	322,75	858,83
B2	19	1,61	740	1190	399,40	600,60	424,68	405,19	304,78	811,00
B3	19	1,66	740	1229	412,30	587,70	418,89	392,69	292,23	777,62
B4	19	1,69	740	1254	420,73	579,27	407,50	389,38	288,28	767,09
B5	19	1,73	740	1280	429,66	570,34	395,00	380,24	279,16	742,85
B6	19	1,56	740	1158	388,48	611,52	431,37	406,46	307,25	817,58
B7	19	1,59	740	1174	393,94	606,06	439,29	409,71	309,42	823,35
B8	19	1,64	740	1211	406,35	593,65	418,29	403,55	302,47	804,87
B9	19	1,70	740	1255	421,23	578,77	408,83	403,83	300,86	800,59
B10	19	1,77	740	1310	439,59	560,41	391,50	371,51	270,28	719,22
B11	19	1,57	740	1159	388,98	611,02	435,11	411,52	311,62	829,20
B12	19	1,62	740	1199	402,38	597,62	422,95	395,48	295,91	787,40
B13	25	1,69	765	1290	432,90	567,10	384,61	383,74	281,83	749,93
B14	25	1,72	765	1314	441,10	558,90	387,22	369,04	267,93	712,96

Continua

Continuação

B15	25	1,77	765	1353	453,93	546,07	376,42	369,19	266,47	709,06
B16	25	1,60	765	1224	410,84	589,16	416,02	400,84	299,55	797,08
B17	25	1,63	765	1250	419,56	580,44	407,29	381,89	281,87	750,04
B18	25	1,66	765	1272	427,00	573,00	402,12	379,33	278,70	741,61
B19	25	1,71	765	1307	438,54	561,46	392,10	362,17	262,25	697,83
B20	25	1,73	765	1324	444,18	555,82	376,40	346,93	248,20	660,44
B21	25	1,57	765	1200	402,63	597,37	429,13	401,54	301,18	801,42
B22	25	1,62	765	1237	414,94	585,06	412,14	392,72	291,93	776,81
B23	25	1,64	765	1252	420,07	579,93	411,21	391,09	289,86	771,30
B24	25	1,74	765	1329	445,98	554,02	384,01	356,56	256,40	682,28
B25	25	1,76	765	1348	452,39	547,61	382,20	348,67	248,70	661,77

Tabela 49: Tabela de traços pelo método da ABCP/ACI das composições basálticas.

Traço ABCP/ACI								
Traço	CIMENTO (kg)	AREIA NATURAL (kg)	AREIA DE BRITAGEM (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (kg)	Teor arg. (%)	a/c	ar (L)
B1	282	386,21	472,62	1142,90	175	50,0	0,62	18,1
B2	281	364,70	446,30	1190,21	176	47,9	0,63	19,5
B3	281	349,69	427,93	1228,65	169	46,3	0,60	26,2
B4	283	344,96	422,13	1253,79	172	45,6	0,61	18,1
B5	283	334,06	408,79	1280,40	175	44,5	0,62	14,8
B6	278	367,67	449,92	1157,68	180	48,6	0,65	24,9
B7	281	370,26	453,09	1173,95	167	48,5	0,59	29,6
B8	283	361,95	442,92	1210,91	175	47,3	0,62	14,7
B9	288	360,02	440,57	1255,26	170	46,5	0,59	5,0
B10	283	323,43	395,79	1309,97	169	43,4	0,60	20,0
B11	280	372,89	456,31	1159,16	176	48,9	0,63	23,6
B12	279	354,09	433,31	1199,08	175	47,1	0,63	27,5
B13	285	337,24	412,69	1290,03	182	44,5	0,64	0,9

Continua

Continuação

B14	283	320,62	392,35	1314,49	172	43,1	0,61	18,2
B15	288	318,86	390,20	1352,70	170	42,4	0,59	7,2
B16	284	358,44	438,63	1224,31	173	46,9	0,61	15,2
B17	280	337,29	412,75	1250,29	173	45,2	0,62	25,4
B18	282	333,50	408,11	1272,45	171	44,6	0,61	22,8
B19	280	313,81	384,02	1306,84	169	42,8	0,61	29,9
B20	276	297,00	363,44	1323,66	179	41,4	0,65	29,5
B21	281	360,40	441,02	1199,85	168	47,4	0,60	27,6
B22	282	349,33	427,48	1236,53	173	46,1	0,61	19,4
B23	283	346,85	424,45	1251,82	169	45,7	0,60	20,1
B24	280	306,82	375,46	1329,01	170	42,0	0,61	27,5
B25	280	297,60	364,18	1348,11	165	41,1	0,59	33,5